

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Регулируемый электропривод ротора буровой установки</b>

УДК 62-83-523:622.242.2-8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Степкин Алексей Романович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Ю.Н. Дементьев  
(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗА1	Степкину Алексею Романовичу

Тема работы:

<b>Регулируемый электропривод ротора буровой установки</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Материалы преддипломной практики, техническое описание буровой установки БУ-2900/200 и техническая документация</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Введение, выбор и расчет параметров элементов силового канала электропривода ротора, оптимизация линеаризованной САУ электропривода ротора, исследование нелинейной САУ электропривода ротора, технико-экономическое обоснование проекта, безопасность и экологичность проекта, заключение</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая принципиальная;</li> <li>- схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- демонстрационный лист;</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2018г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Каракулов А.С.	к.т.н.		05.04.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5ГЗА1	Степкин Алексей Романович		05.04.2018г.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать регулируемый электропривод механизма ротора, удовлетворяющий следующим техническим характеристикам.

1. Электропривод нереверсивный с двухзонным регулированием скорости.
2. Номинальная скорость вращения ротора  $n_{рн} = 70$  об/мин.
3. Максимальная скорость вращения ротора  $n_{р\max} = 200$  об/мин.
4. Передаточное отношение механизма ротора  $i_{рот} = 6,64$ .
5. Диапазон регулирования скорости не менее 10.
6. Регулирование скорости безступенчатое.
7. Электропривод должен обеспечивать ограничение максимального момента ротора в соответствии с заданной зависимостью  $M_{р\max}(\omega_p)$ .
8. Погрешность поддержания скорости привода при изменении нагрузки не более 10% на номинальной скорости привода.
9. Время пуска привода до максимальной скорости должно быть регулируемое и составлять не менее 4 с.
10. Режим работы привода длительный, нагрузка переменная, характер нагрузки реактивный.
11. Электропривод должен быть обеспечен соответствующими защитами и блокировками.
12. Сеть трёхфазная,  $380 \pm 10\%$  В, 50Гц.

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа содержит 118с, 38 рисунков, 13 таблиц, 16 используемых источников и 1 приложение.

Объектом исследования является электропривод ротора буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ, предназначенный для вращения обсадных труб и колон.

Цель работы - разработка и исследование двухзонного электропривода (ЭП) ротора буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ.

В работе выбраны элементы силовой цепи, определены оптимальные параметры настройки регуляторов системы, рассчитаны статические и динамические характеристики, определены качественные показатели.

В результате исследования установлено, что разработанная система соответствует технологическим и техническим требованиям.

В экономической части выпускной квалификационной работы выполнено технико-экономическое обоснование выбора системы, приведен расчет затрат на проектирование и проведение пусконаладочных работ электропривода ротора буровой установки, а также этапы их проведения.

В работе также рассмотрены вопросы безопасности и экологичности, электробезопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности при монтаже, наладке и обслуживании электропривода на буровой установке.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>8</b>
<b>ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ</b>	<b>10</b>
1.1 Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ	10
1.2 Описание технологического процесса	12
1.3 Буровой ротор	13
<b>2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОТОРА</b>	<b>17</b>
2.1 Электропривод ротора как объект управления	17
2.2 Выбор и расчет параметров электродвигателя	20
2.3 Механическая система привода ротора	24
2.4 Выбор и расчет параметров тиристорного преобразователя двигателя	25
2.5 Расчет параметров якорной цепи привода	28
2.6 Расчет параметров тиристорного возбуждателя двигателя	30
2.7 Определение области допустимой работы электропривода ротора	33
2.8 Структурная схема силового канала электропривода ротора	39
<b>3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОТОРА</b>	<b>41</b>
3.1 Функциональная схема электропривода бурового ротора	41
3.2 Структурная схема САР скорости электропривода ротора	47
3.3 Оптимизация контура тока	48
3.4 Оптимизация контура ЭДС двигателя	51
3.5 Структурная схема САР потока возбуждения двигателя	54
<b>4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОТОРА</b>	<b>57</b>
4.1 Структурная схема нелинейной САУ ЭП ротора	57
4.2 Настройка САУ электропривода на имитационной модели	60
4.3 Исследование САУ электропривода на имитационной модели	60
4.4 Расчет статических характеристик электропривода	65

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	70
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	71
5.1 Расчет номинального фонда времени на проектирование	72
5.2 Расчет затрат по научно-техническому проектированию	74
5.3 Расчет затрат на монтажные и пусконаладочные работы	78
5.4 Выбор состава и численности бригады для проведения ПНР	81
5.5 Планирование пусконаладочных работ	81
5.6 Определение стоимости пусконаладочных работ	83
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	87
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	88
6.1 Производственная безопасность	88
6.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	91
6.3 Экологическая безопасность	99
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	102
6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
THE CONCLUSION	109
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	110
ПРИЛОЖЕНИЕ А	112

## **ВВЕДЕНИЕ**

Бурение - это основа развития нефтяной промышленности, представляет собой строительное производство, в котором находят отражение общие вопросы направления технического прогресса: замена ручного труда машинным; специализация средств производства, т.е. повышение технологических параметров — скорости, мощности, грузоподъемности и т.д.; внедрение систем и средств автоматизации и др.

Создание новых буровых машин - сложная задача прежде всего вследствие специфических условий работы этих машин, к которым относят: способы бурения (вращательный, ударный, комбинированный и др.), необходимость разрушения горных пород крайне разнообразных по своим физико-механическим свойствам; высокую абразивность отдельных разрушаемых пород; необходимость бурения не только вертикальных, но и горизонтальных и наклонных скважин; работу в запыленной, влажной и загазованной среде.

Поэтому процесс проектирования современных буровых машин и оборудования - комплексная задача, при решении которой необходимо учитывать экономические, социальные, технические, эксплуатационные, технологические и специальные требования, предъявляемые к создаваемой технике [1].

Непременным условием выполнения экономических требований является обеспечение минимальных расходов, связанных с процессом создания новой буровой техники и изготовлением ее в заводских условиях.

Следовательно, производительность машины, обеспечиваемая ею производительность труда обслуживающего персонала и себестоимость получаемой продукции являются важнейшими экономическими показателями.

Основными видами привода буровых установок до недавнего времени считались: электрический (машины переменного тока), дизель-электрический и дизельный. На смену им создаются электропривода на постоянном токе с использованием тиристорных преобразователей, что позволяет унифицировать все основные узлы бурового оборудования, независимо от автономности



привода.

Но несмотря на значительные достижения в области создания высокоэффективного оборудования, в настоящее время существуют значительные недостатки, ухудшающие технико-экономические показатели бурения и особенно глубокого:

- парк буровых установок укомплектован более чем наполовину морально устаревшими конструкциями;
- имеет место значительное утяжеление и удорожание бурового оборудования;
- не выпускаются серийно необходимые буровикам установки, что приводит к нецелесообразному использованию установок других классов (более тяжелых) и повышает стоимость бурения;
- большинство буровых установок выпускается в неполной комплектности (без вышек, оснований и других комплектующих устройств), что в значительной мере снижает эффективность использования оборудования;
- монтажеспособность и транспортабельность установок остается на невысоком уровне, отсутствуют эффективные средства для транспортировки оборудования.

Задачей данной работы является разработка и исследование двухзонного электропривода (ЭП) буровогоротора БУ 2900/200 ЭПК-БМ.

В качестве основного метода исследования принято имитационное моделирование на ЭВМ с последующим анализом полученных результатов.

# **ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ**

## **1.1 Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ**

Процесс бурения состоит из последовательности следующих основных операций:

- спуска долота в скважину;
- разрушение породы на забое;
- очистка забоя от выбуренной породы и выноса ее по стволу скважины на поверхность;
- подъема долота после его отработки;
- спуска обсадных труб и ряда других работ.

Буровая установка – это комплекс буровых машин, механизмов и оборудования, смонтированный на точке бурения и обеспечивающий с помощью бурового инструмента самостоятельное выполнение технологических операций по строительству скважин (см. рисунок 1).

Современные буровые установки включают следующие составные части:

- буровое оборудование (талевый механизм, насосы, буровая лебедка, вертлюг, ротор, силовой привод и т.д.);
- буровые сооружения (вышка, основания, сборно-расборные каркасно-панельные укрытия, приемные мостки и стеллажи);
- оборудование для механизации трудоемких работ (регулятор подачи долота, механизмы для автоматизации спускоподъемных операций, пневматический клиновой захват для труб, автоматический буровой ключ, вспомогательная лебедка, пневмораскрепитель, краны для ремонтных работ, пульт контроля процессов бурения, посты управления);



Рисунок 1.- Буровая установка

- оборудование для приготовления, очистки и регенерации бурового раствора (блок приготовления, вибросита, песко- и илоотделители, подпорные насосы, емкости для химических реагентов, воды и бурового раствора);
- манифольд (нагнетательная линия в блочном исполнении, дроссельно-запорные устройства, буровой рукав);
- устройства для обогрева блоков буровой установки (тепло - генераторы, отопительные радиаторы и коммуникации для развода теплоносителя).

Исходя из условий технологии бурения скважин, установки подразделяются на классы. За основу классификации принята грузоподъемность на крюке, которая служит критерием использованием той или другой буровой установки для бурения конкретных скважин в зависимости от их глубины и конструкции.

Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ предназначена для бурения нефтяных и газовых скважин глубиной 2900 метров с грузоподъемностью на крюке до 200 тонн.

## **1.2 Описание технологического процесса**

Бурение скважины является сложным производственным процессом, состоящим из отдельных операций, основными из которых являются спуско-подъемные и углубление скважины.

Спускоподъемные операции включают спуск бурильных труб с породоразрушающим инструментом (бурильной колонной) до забоя скважины и их подъем с отработанным породоразрушающим инструментом на поверхность.

Для производства спускоподъемных операций буровая вышка имеет талевую оснастку, состоящую из кронблока и талевого блока, на которые намотан талевый канат. К талевому блоку крепится крюк, к которому могут быть прикреплены инструменты для спуска и подъема. Один конец талевого каната крепится к якорю, другой к лебедке.

Спуск бурильной колонны производится в следующем порядке. Собирают компоновку низа колонны (КНБК), состоящую из долота, калибровочных расширителей, центраторов и утяжеленных бурильных труб, соединенных между собой с помощью переводников. Производят спуск КНБК в скважину. Верхнюю часть закрепляют в роторе клиньями. Отцепляют элеватор и поднимают его до уровня верхней части свечи (несколько бурильных труб, число которых зависит от высоты буровой вышки, соединены муфтами в свечи). Свечи соединяют между собой замками. В элеватор заводят верхний конец свечи, элеватор закрывают и приподнимают всю свечу, чтобы установить ее в верхнюю часть опущенной в скважину бурильной колонны. Производят навинчивание свечи, после чего ее приподнимают, освобождая от клиньев, и производят спуск. Затем в бурильную колонну включают еще одну

бурильную трубу, производят спуск колонны с таким расчетом, чтобы долото на 1,5-2 м не дошло до забоя и подсоединяют ведущую бурильную трубу, имеющую четырехгранную, шестигранную или фигурную форму для крепления ее в роторе.

На этой операции по спуску заканчиваются и приступают к углублению скважины.

Непосредственно углубление скважины связано с разрушением породы на забое и транспортировкой разрушенной породы (шлама) от забоя на поверхность.

Транспортировка разрушенной породы на поверхность осуществляется с помощью бурового раствора подаваемого от насосов через их обвязку, гибкий буровой шлаг и вертлюг, ведущую трубу, бурильные трубы к долоту. Из долота через отверстия для промывки буровой раствор поступает к забою и вместе с буровым шламом поднимается на поверхность по кольцевому зазору между стенками скважины и бурильными трубами. На поверхности буровой раствор подвергается очистке от частиц выбуренной породы и по системе желобов направляется в приемную емкость буровых насосов. После этого цикл его движения продолжается.

### **1.3 Буровой ротор**

В буровых установках для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения используются буровые роторы, неподвижно устанавливаемые над устьем скважины.

Буровой ротор, сокращенно называемый ротором или вращателем, предназначен для выполнения следующих операций:

- вращения поступательно движущейся бурильной колонны в процессе проходки скважины роторным способом;

- восприятия реактивного крутящего момента и обеспечения продольной подачи бурильной колонны при использовании забойных двигателей;
- удержания бурильной или обсадной колонны труб над устьем скважины при наращивании и спускоподъемных операциях;
- проворачивании инструмента при ловильных работах и других осложнениях, встречающихся в процессах бурения и крепления скважины.

По конструктивной схеме роторы напоминают конический редуктор, ведомый вал которого выполнен в виде вертикального полого цилиндра. Типовая конструкция ротора приведена на рисунке 2 и состоит из станины 9 и стола 2, приводимого во вращение от быстроходного вала 7 при помощи конических шестерни 10 и колеса 6. Межосевой угол передачи составляет  $90^\circ$ . Стол 2 ротора представляет собой полую стальную отливку с наружным диском, прикрывающим вертикальную расточку станины. В верхней части он имеет квадратное углубление для разъёмного вкладыша (втулки) 4. В свою очередь, вкладыши имеют квадратное углубление для зажима 5, переходящее в конус. При бурении во вкладыши вставляются квадратные либо роликовые зажимы ведущей трубы, а при спускоподъёмных операциях - клинья, удерживающие колонну трубы над ротором.

Стол ротора с напресованным коническим колесом устанавливается в вертикальной расточке станины на основной 3 и вспомогательной 12 опорах.

В качестве опор используются упорно-радиальные подшипники. Натяг подшипника основной опоры создаётся собственным весом стола ротора, а осевое его положение регулируется стальными прокладками 13, установленными под нижним кольцом основной опоры. Осевой натяг вспомогательного подшипника регулируется прокладками, которые устанавливаются между нижним торцом стола ротора и фланцем 11, соединяемыми болтами. Подшипники и стол ротора вращаются при роторном бурении и остаются неподвижными при спускоподъёмных операциях и бурении забойными двигателями, если не учитывать их вращение при периодическом проворачивании бурильной колонны с целью предупреждения прихватов.



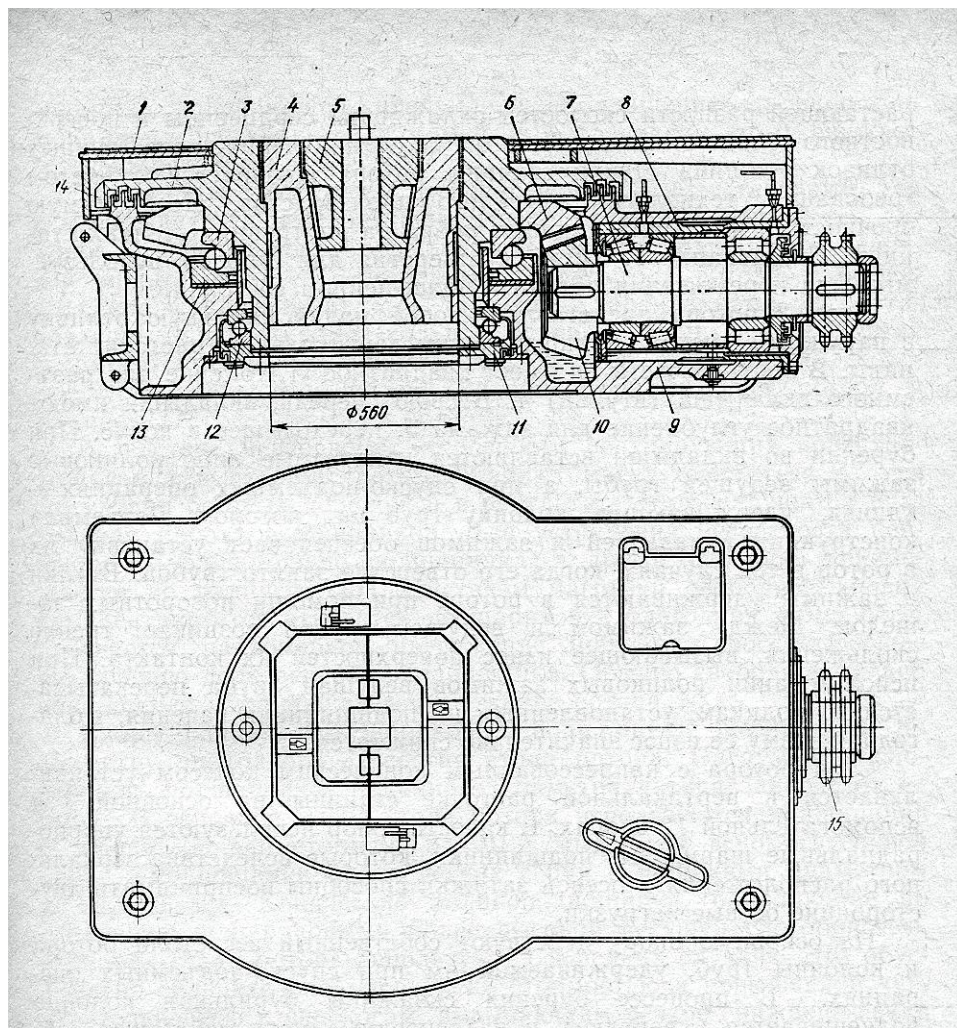


Рисунок 2 - Буровой ротор

Быстроходный вал с конической шестерней, закреплённой шпонкой, монтируется в стакане 8 и в собранном виде устанавливается в горизонтальную расточку станины. На наружном конце быстроходного вала установлена цепная звёздочка 15. При бурении забойными двигателями стол ротора стопорится фиксатором, который входит в радиальные пазы 14 диска стола ротора. Для безопасности и удобства обслуживания ротор закрывается крышкой 1.

Наиболее ответственными и быстроизнашивающимися деталями ротора являются опоры и коническая зубчатая передача, поэтому они работают в масляной ванне.

Привод ротора в большинстве конструкций отечественных и зарубежных буровых установок осуществляется от силовой установки через лебедку. Использование лебедки в качестве передаточного звена в процессе углубления скважины имеет ряд недостатков, особенно при использовании роторного способа бурения глубоких скважин. К таким недостаткам относятся большой износ звеньев лебедки, излишний шум от цепных передач, излишний расход энергии за счет применения большого числа передающих звеньев.

Чтобы освободить лебедку от функции передаточного механизма и не связывать работу лебедки и ротора, в нашем случае используется ротор с индивидуальным приводом, получившим сокращенный индекс ПИР.



## 2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОТОРА

### 2.1 Электропривод ротора как объект управления

Кинематическая схема привода ротора достаточно проста и представляет собой (см. рисунок 3) последовательно включенные две цепные передачи с передаточными отношениями  $i_{цеп1}=1$ ,  $i_{цеп2}=1,84$  и коническую зубчатую передачу с передаточным отношением  $i_{зуб}=3,64$ . Общее передаточное отношение механизма привода ротора

$$i_{рот}=i_{цеп1} \cdot i_{цеп2} \cdot i_{зуб}=1 \cdot 1,84 \cdot 3,64=6,64.$$

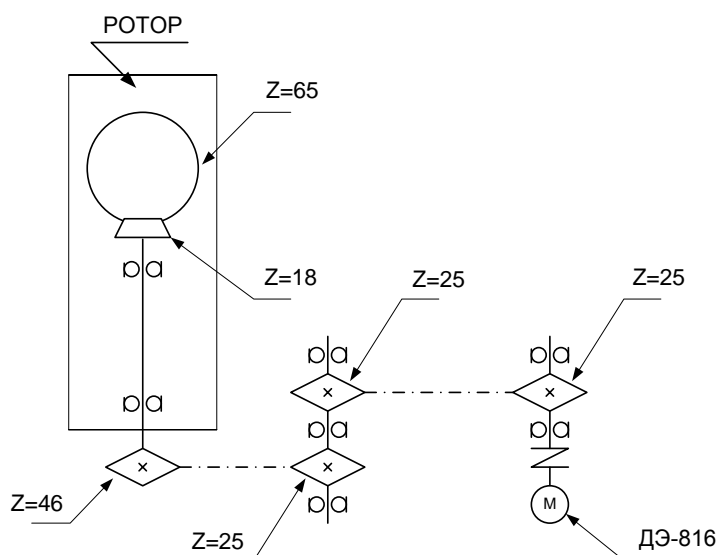


Рисунок 3- Кинематическая схема привода ротора

Основной характеристикой ротора является зависимость допустимого момента на валу ротора от скорости вращения. Зависимость  $M_{рдоп}(\omega_p)$  приведена на рисунке 4.

В диапазоне скоростей ротора от 0 до номинальной  $n_{рн}$  момент на валу ротора должен поддерживаться постоянным и равным минимальному значению стопорного момента  $M_{рст мин}$ . При дальнейшем увеличении скорости вращения ротора допустимый момент на его валу должен уменьшиться в соот

ветствии с кривой 3 на рисунке 4. В аварийных режимах, например, при захвате колонны, должен обеспечиваться кратковременный режим работы с повышенным моментом. При этом желательна линейная зависимость момента от скорости вращения (кривая 2 на рисунке 4).

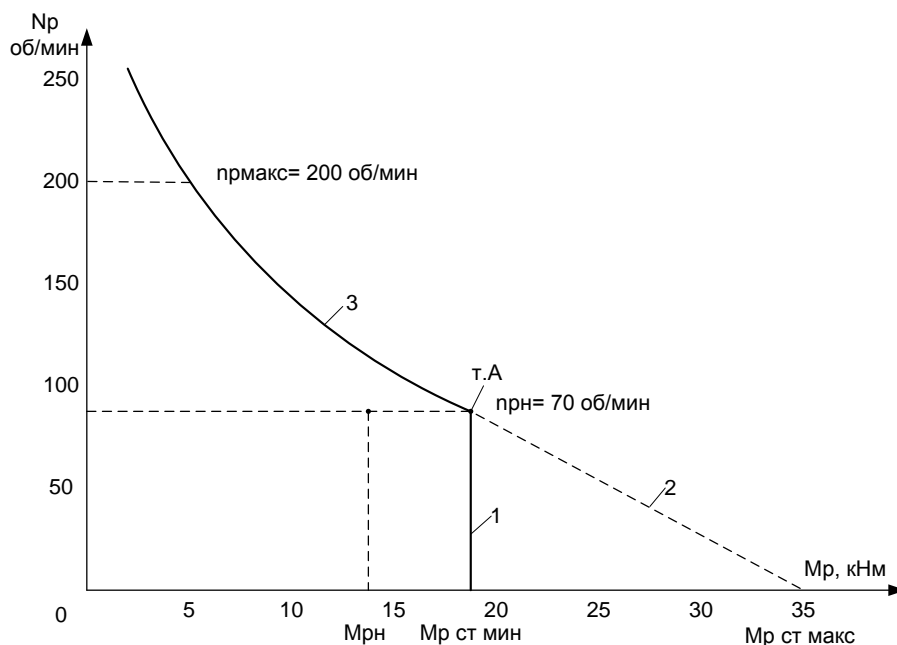


Рисунок 4-Зависимость допустимого момента на валу ротора от скорости вращения ротора

Максимальная скорость вращения ротора  $n_{р\text{макс}}=200$  об/мин. Тогда максимальная скорость вращения электродвигателя

$$N_{\text{дв макс}} = n_{р\text{макс}} \cdot i_{\text{рот}} = 200 \cdot 6,64 = 1328 \text{ об/мин.}$$

Полезный момент нагрузки на валу двигателя, соответствующий допустимому моменту ротора, определяется выражением

$$M_{\text{дв макс}} = \frac{M_{р\text{макс}}}{i_{\text{рот}}}.$$

Зависимость допустимых значений момента нагрузки на валу двигателя, с учетом потерь, от скорости вращения двигателя приведена на рисунке 5.

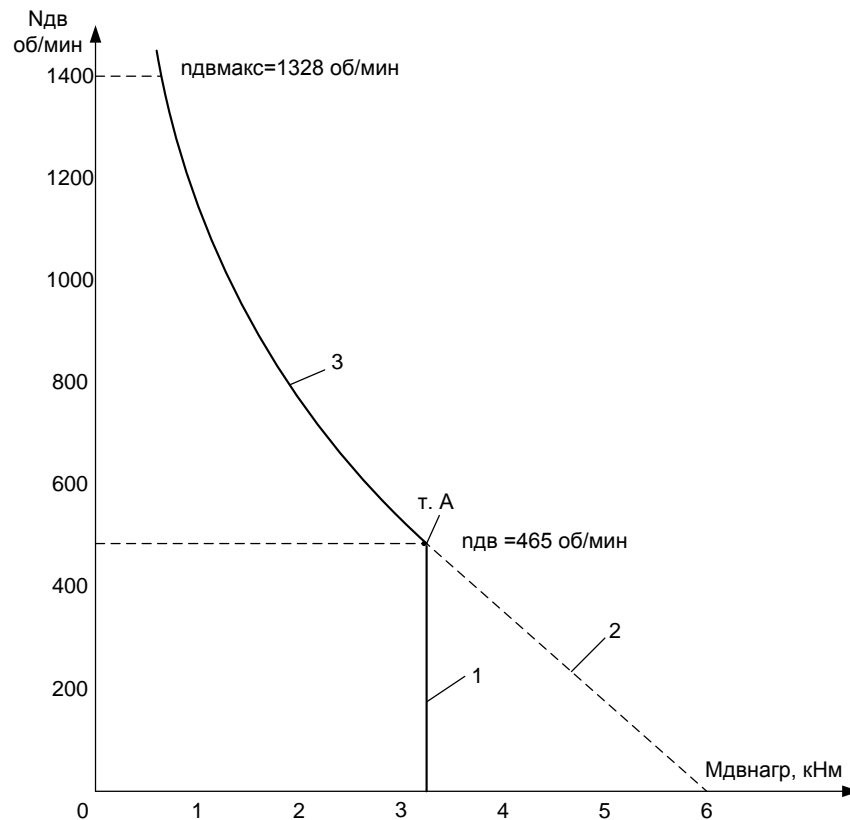


Рисунок 5-Зависимость допустимых значений момента нагрузки на валу двигателя с учетом потерь от скорости вращения двигателя

Кривые 1 и 3 на рисунке 5 соответствуют длительному режиму работы двигателя. Характеристика 2 соответствует кратковременному режиму работы в процессе “срыва” колонны при её прихвате. Максимальная мощность будет иметь место в т.А. Поэтому желательно, чтобы характеристика 1 соответствовала работе двигателя с номинальным током  $I_{двн}$ .

Максимальная мощность приводного двигателя

$$P_{двмакс} = \frac{M_{рстмин} \cdot n_{рн} \cdot \pi}{30 \cdot \eta_{рот}} = \frac{18 \cdot 10^3 \cdot 70 \cdot 3,14159}{30 \cdot 0,9} = 146,5 \text{ кВт},$$

где  $\eta_{рот} = \eta_{цен1} \cdot \eta_{цен2} \cdot \eta_{зуб} = 0,9$

-КПД механизма привода ротора.

Работа электродвигателя на характеристике 3 соответствует работе привода с постоянной мощностью

$$P_{дв} = M_{дв.нагр} \cdot n_{дв} = \text{const.}$$

Таким образом электропривод должен иметь две зоны регулирования скорости: ниже точки А при постоянном моменте двигателя и выше точки А при постоянном моменте двигателя. В первом случае регулирование скорости вращения двигателя осуществляется увеличением подаваемого напряжения, во втором – ослаблением потока возбуждения. Соответствующие характеристики приведены на рисунке 6.

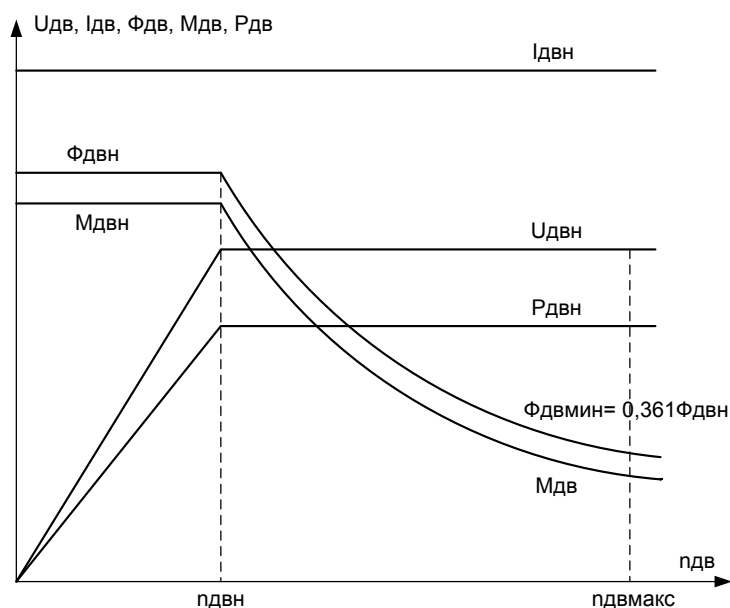


Рисунок 6 -Регулировочные характеристики электропривода

Требуемый диапазон регулирования потока двигателя

$$\frac{\Phi_{двн}}{\Phi_{двмин}} = \frac{n_{двмакс}}{n_{двн}} = \frac{1328}{480} = 2,77,$$

тогда

$$\Phi_{двмин} = \frac{\Phi_{двн}}{2,77} = \frac{0,1025}{2,77} = 0,0361 \text{ Вб.}$$

## 2.2 Выбор и расчет параметров электродвигателя

Режим работы механизма ротора длительный, поэтому мощность двигателя выбирается по максимальной нагрузке в т.А рисунка 5

$$P_{двн} \geq P_{двмакс} = 146,5 \text{ кВт.}$$

Скорость двигателя выбирается из условий (см.рисунок 5):

$$n_{двн} \geq n_{дв} = 465 \text{ об/мин},$$

$$n_{двмакс} \geq 1328 \text{ об/мин}.$$

Выбираем электродвигатель типа ДЭ-816.

#### Паспортные параметры электродвигателя

Паспортные параметры двигателя ДЭ-816 приведены в таблице 1.

Таблица 1- Технические параметры электродвигателя ДЭ-816

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Номинальная скорость вращения, об/мин	$n_H$	480
Номинальное напряжение, В	$U_H$	440
Номинальная мощность, кВт	$P_H$	150
Ток возбуждения, А	$I_B$	6,5
Номинальное напряжение возбуждения, В	$U_B$	220
Максимальная скорость вращения, об/мин	$n_{MAX}$	1400
Момент инерции якоря, кг·м <sup>2</sup>	$J_d$	16,2
Сопротивление обмотки якоря при 15°C, мОм	$R_{OЯ}$	21,9
Сопротивление дополнительных полюсов при 15°C, мОм	$R_{ДП}$	16,6
Сопротивление обмотки возбуждения при 15°C, Ом	$R_B$	22,2
Индуктивность обмотки двигателя, мГн	$L_{ДВ}$	4,2
Число полюсов	$2p$	4
Число витков обмотки возбуждения на полюс	$W_B$	1160
Номинальный ток, А	$I_H$	370
Максимально допустимый ток перегрузки двигателя, А – при номинальном потоке	$I_{МАКС}$	2,25 $I_H$
- при ослабленном поле		1,5 $I_H$
Номинальный поток возбуждения, Вб	$\Phi_{двн}$	0,1025

Кривая намагничивания двигателя ДЭ- 816 приведена на рисунке7.

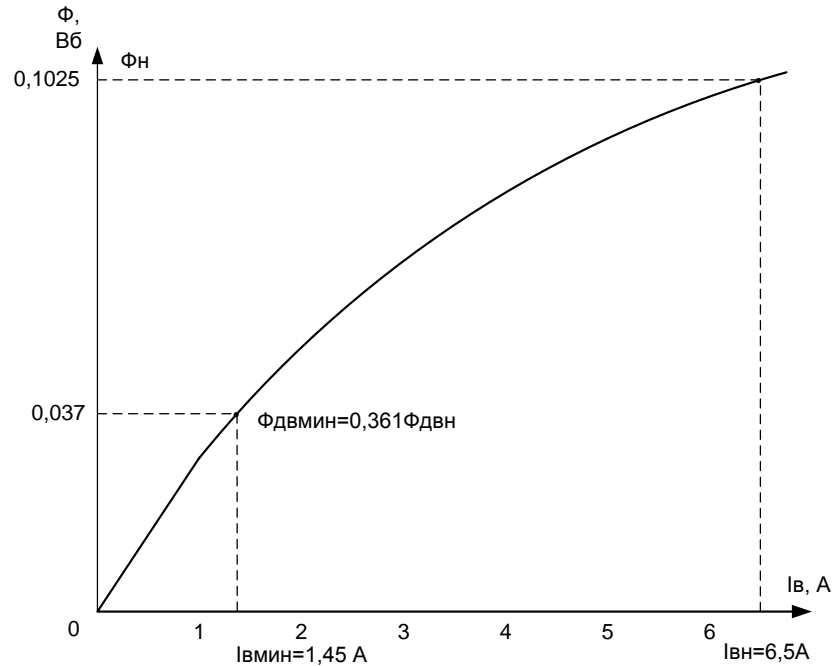


Рисунок 7 - Кривая намагничивания двигателя

#### Расчетные параметры электродвигателя

Номинальная угловая скорость вращения

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_{\text{двн}}}{30} = \frac{3,14159 \cdot 480}{30} = 50,256 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{двн}} = \frac{P_{\text{двн}}}{\omega_{\text{двн}}} = \frac{150 \cdot 10^3}{50,256} = 2984,72 \text{ Н·м.}$$

Сопротивление двигателя в холодном состоянии

$$R_{\text{дв}} = R_{\text{оя}} + R_{\text{дн}} = 0,0219 + 0,0166 = 0,0385 \text{ Ом.}$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии при температуре перегрева обмоток 70° С

$$R_{\text{двгор}} = 1,28 \cdot R_{\text{дв}} = 1,28 \cdot 0,0385 = 0,04928 \text{ Ом.}$$

Коэффициент ЭДС  $\left( \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right)$  и электромагнитного момента  $\left( \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} \right)$  при

номинальном потоке возбуждения

$$C = (K \cdot \Phi_{\text{двн}}) = \frac{U_{\text{двн}} - I_{\text{двн}} \cdot R_{\text{двгор}} - \Delta U_{\text{ш}}}{\omega_{\text{двн}}} = \frac{440 - 370 \cdot 0,04928 - 2}{50,256} = 8,353.$$

Конструктивный коэффициент двигателя

$$K = \frac{(K \cdot \Phi_{\text{двн}})}{\Phi_{\text{двн}}} = \frac{8,353}{0,1025} = 81,493.$$

Электромагнитная постоянная времени двигателя

$$T_{\text{дв}} = \frac{L_{\text{дв}}}{R_{\text{двгор}}} = \frac{0,0042}{0,04928} = 0,085 \text{ с.}$$

Расчет параметров обмотки возбуждения

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 7.

Индуктивность обмотки возбуждения основного потока на графике кривой намагничивания от  $\Phi_{\text{двн}}$  до  $\Phi_{\text{дв мин}}$  - на начальном участке кривой намагничивания (максимальное значение)

$$L_{\text{овмакс}} = 2 \cdot p \cdot W_{\text{с}} \cdot \frac{\Delta \Phi_{\text{дв}}}{\Delta I_{\text{в}}} = 4 \cdot 1160 \cdot \frac{0,1025 - 0,037}{6,5 - 1,45} = 60,18 \text{ Гн};$$

- в точке номинального режима работы (минимальное значение)

$$L_{\text{овмин}} = 2 \cdot p \cdot W_{\text{с}} \cdot \frac{\Delta \Phi_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{вн}}} = 4 \cdot 1160 \cdot \frac{0,01}{2,208} = 21,41 \text{ Гн};$$

- усредненное значение на рабочем участке ( $\Phi_{\text{мин}} \div \Phi_{\text{н}}$ )

$$L_{\text{овср}} = 2 \cdot p \cdot W_{\text{с}} \cdot \frac{\Delta \Phi_{\text{ср}}}{\Delta I_{\text{вср}}} = 4 \cdot 1160 \cdot \frac{0,0299}{2,361} = 58,762 \text{ Гн};$$

Индуктивность потока рассеяния

$$L_{\text{с}} = 2 \cdot p \cdot W_{\text{с}} \cdot \frac{\delta \cdot \Phi_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{вн}}} = 4 \cdot 1160 \cdot \frac{0,18 \cdot 0,1025}{6,5} = 13,17 \text{ Гн.}$$

где  $\delta = 0,18$  – коэффициент учета рассеяния потока.

Сопротивление обмотки возбуждения горячее

$$R_{\text{овгор}} = 1,3 \cdot R_{\text{с}} = 1,3 \cdot 22,2 = 28,86 \text{ Ом.}$$

### 2.3 Механическая система привода ротора

Расчетная схема механической системы ротора может быть представлена как одномассовая (см. рисунок 8).

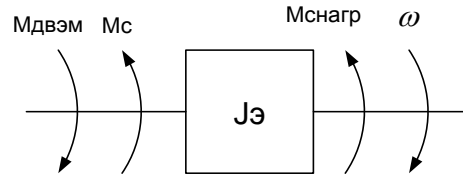


Рисунок 8 - Расчетная схема механической системы привода ротора

На рисунке 8 приняты следующие обозначения:

$J_{э}$  - эквивалентный приведенный момент инерции привода;

$M_{двэм}$  - электромагнитный момент двигателя;

$M_c$  - приведенный момент сопротивления трения механизма ротора;

$M_{нагр}$  - приведенный к валу двигателя момент нагрузки на валу ротора;

Структурная схема одномассовой механической системы (ОМС) привода ротора приведена на рисунке 9.

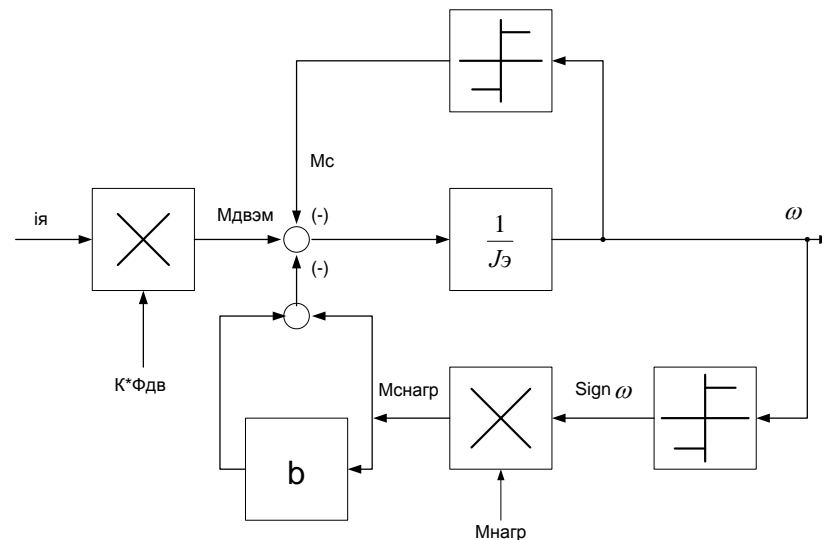


Рисунок 9 - Структурная схема ОМС привода ротора



## Параметры механической системы

Момент сопротивления на валу двигателя:

$$M_{сдв} = K \cdot \Phi_{двн} \cdot I_{двн} - M_{двн} = 8,353 \cdot 370 - 2984,72 = 105,89 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коэффициенты постоянных  $a$  и переменных  $v$  потерь механизма ротора

$$a = v = \frac{1 - \eta_{ротн}}{2 \cdot \eta_{ротн}} = \frac{1 - 0,9}{2 \cdot 0,9} = 0,0555,$$

где  $\eta_{мех} = \eta_{пер} = 0,9$

- КПД механизма ротора, принято ориентировочно.

Момент постоянных потерь в механизме ротора

$$M_{пос} = a \cdot M_{перн} = 0,0555 \cdot 3200 = 177,6 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $M_{перн} = 3200 \text{ Н} \cdot \text{м}$  – номинальный передаваемый момент механизма ротора, принят ориентировочно.

Приведенный эквивалентный момент сопротивления сухого трения

$$M_c = M_{сдв} + M_{пос} = 105,89 + 165,8 = 271,69 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведённый момент нагрузки на валу двигателя  $M_{нагр}$ - переменный, максимальное значение его определяется приведёнными на рисунке 3 характеристиками и зависит от скорости вращения двигателя.

Момент инерции двигателя и механизма привода ротора

$$J_{рот} = 1,25 \cdot J_{дв} = 1,25 \cdot 16,25 = 20,3125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведённый максимальный момент инерции буровой колонны переменный и изменяется в зависимости от типа буровых труб в пределах от

$$J_{кол мин} = 3,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \text{ до } J_{кол макс} = 10,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Эквивалентный момент инерции ОМС

$$J_{э} = J_{рот} + J_{кол} = 20,3125 + (3,8 \div 10,2) = (24,1 \div 30,5) \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

## 2.4 Выбор и расчет параметров тиристорного преобразователя двигателя

Условиями выбора преобразователя являются:

$$U_{дн} \geq U_{двн}; \quad I_{дн} \geq I_{двн}; \quad I_{дмакс} \geq I_{двмакс}.$$

По параметрам двигателя:

$$U_{\text{двн}} = 440 \text{ В}, I_{\text{двн}} = 370 \text{ А}, I_{\text{двмакс}} = 3 \cdot 370 = 1110 \text{ А}$$

выбираем преобразователь специального исполнения с техническими характеристиками:

- преобразователь нереверсивный;
- трехфазная мостовая схема выпрямления;
- сглаживающего реактора в цепи двигателя нет;
- $U_{\text{дн}} = 460 \text{ В}$  – номинальное выпрямленное напряжение;
- $I_{\text{дн}} = 400 \text{ А}$  – номинальный выпрямленный ток;
- $I_{\text{дмакс}} = 2,25 \cdot I_{\text{дн}} = 900 \text{ А}$  -максимальный выпрямленный ток в течение времени 10 с;
- $\alpha_{\text{нач}} = 120^\circ$ ,  $\alpha_{\text{мин}} = (6^\circ \div 10^\circ)$ ,  $\alpha_{\text{макс}} = 150^\circ$  - начальный, минимальный, и максимальный углы управления преобразователя;
- $U_{\text{упмакс}} = 10 \text{ В}$ - максимальный сигнал управления на входе преобразователя.

Выбор трехфазного токоограничивающего реактора

Необходимое значение полного сопротивления обмотки фазы реактора

$$Z_{\text{фрасч}} = \frac{U_{\text{кз}} \% \cdot U_{\text{сф}}}{100 \cdot I_{\text{фрасч}}} = \frac{5,5 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 316,63} = 0,038 \text{ Ом},$$

где  $I_{\text{фрасч}} = k_{i2\text{ф}} \cdot k_i \cdot I_{\text{двн}} = 0,815 \cdot 1,05 \cdot 370 = 316,63 \text{ А}$ ;

$U_{\text{сф}} = 380 \text{ В}$ - фазное напряжение питающей сети;

$U_{\text{кз}} = 5,5\%$  - напряжение короткого замыкания реактора.

Предварительно пренебрегаем активным сопротивлением обмоток реактора, тогда  $X_{\phi расч} = Z_{\phi}$  и необходимое значение индуктивности обмотки фазы реактора

$$L_{\phi расч} = \frac{X_{\phi расч}}{\omega_c} = \frac{0,0381}{314} = 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Выбираем трехфазный токоограничивающий реактор типа РТСТ-400-0,101У3 с паспортными данными:

- линейное напряжение сети  $U_{л}=410 \text{ В}$ ;
- номинальный фазный ток реактора  $I_{\phi н}=410 \text{ А}$ ;
- индуктивность обмотки реактора  $L_p=0,101 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$ ;
- активное сопротивление обмотки реактора  $R_{p\phi}=3,8 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ .

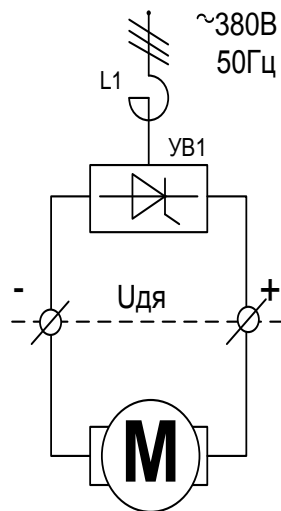


Рисунок 10 – Схема электрическая силовой цепи привода ротора.  
Индуктивное сопротивление обмотки фазы реактора

$$X_{\phi расч} = \omega_c \cdot L_p = 314 \cdot 0,000101 = 31,714 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Среднее значение выпрямленной ЭДС тиристорного преобразователя при угле управления  $\alpha = 0$

$$E_{d0} = \frac{U_{c\Phi}}{K_{U2}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 0.428} = 512.6 \text{ В},$$

где  $K_{U2} = 0.428$  - коэффициент для трёхфазной мостовой схемы.

Активное сопротивление силовой цепи преобразователя

$$R_{\text{ТП}} = 2R_p + R_k = 2 \cdot 0.0038 + 0.0303 = 37.9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

$$\text{где } R_k = \frac{m_b \cdot X_{\text{фрасч}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 31.714 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3.14} = 0.0303 \text{ Ом}$$

- сопротивление, учитывающее коммутацию вентиля;

$m_b = 6$  - число импульсов для трёхфазной мостовой схемы выпрямления.

Индуктивность силовой цепи преобразователя

$$L_{\text{ТП}} = 2 \cdot L_p = 2 \cdot 0.101 \cdot 10^{-3} = 0.202 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Электромагнитная постоянная времени тиристорного преобразователя якоря

$$T_{\text{тп}} = \frac{0.5}{m_b \cdot f_c} = \frac{0.5}{6 \cdot 50} = 0.00167 \text{ с}.$$

## 2.5 Расчет параметров якорной цепи привода

Максимальное значение граничного тока зоны прерывистых токов

$$I_{d_{\text{грмакс}}} = \frac{1}{\omega_c} \cdot K_{\text{грмакс}} \cdot \frac{U_{c\Phi}}{K_{U2} \cdot L_{\text{яц}}} =$$

$$= \frac{1}{314} \cdot 0.093 \cdot \frac{380}{0.428 \cdot 4.402 \cdot 10^{-3}} = 59.737 \text{ А},$$

$$\text{где } K_{\text{грмакс}} = 1 - \frac{\pi}{m_b} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{m_b} = 1 - \frac{3.14}{6} \cdot \text{ctg} \frac{3.14}{6} = 0.093.$$

Тогда в относительных единицах

$$\frac{I_{d_{\text{грмакс}}}}{I_{\text{двн}}} = \frac{59.737}{370} = 0.1614.$$

Максимальная величина пульсаций тока двигателя при угле управления  $\alpha = 90^\circ$  и номинальном токе нагрузки

$$P(1)\% = \frac{E_{d(1)макс} \cdot 100}{m_v \cdot \omega_c \cdot I_{двн} \cdot L_{яц}} = \frac{124,6 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 370 \cdot 4,402 \cdot 10^{-3}} = 4,06\%,$$

$$\text{где } E_{d(1)макс} = \frac{U_{сф} \cdot \sqrt{2} \cdot m_v}{K_{и2} \cdot (m_v^2 - 1)} = \frac{220 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{0,428 \cdot (6^2 - 1)} = 124,6 \text{ В}$$

- действующее значение первой гармоники выпрямленного напряжения при  $\alpha = 90^\circ$

Полученные результаты можно считать удовлетворительными, поэтому сглаживающий реактор в цепь двигателя не устанавливаем.

Сопротивление якорной цепи с учетом сопротивления соединительных проводов

$$\begin{aligned} R_{яц} &= R_{тп} + R_{двгор} + 0,1 \cdot R_{двгор} = \\ &= 37,9 \cdot 10^{-3} + 49,28 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 49,28 \cdot 10^{-3} = 92,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Индуктивность якорной цепи

$$L_{яц} = L_{тп} + L_{дв} = 0,202 \cdot 10^{-3} + 4,2 \cdot 10^{-4} = 4,402 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{4,402 \cdot 10^{-3}}{92,1 \cdot 10^{-3}} = 47,8 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Электромеханическая постоянная времени привода

$$T_M = \frac{J_{\Sigma} \cdot R_{яц}}{(K \cdot \Phi_{дв})^2}$$

При номинальном потоке возбуждения двигателя

$$T_M = \frac{(24,1 \div 30,5) \cdot 0,0921}{8,353^2} = (0,0318 \div 0,04) \text{ с,}$$

при минимальном потоке возбуждения

$$T_M = \frac{(24,1 \div 30,5) \cdot 0,0921}{(81,493 \cdot 0,037)^2} = (0,244 \div 0,31) \text{ с.}$$

## 2.6 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя

Для регулирования скорости выше номинальной скорости двигателя ослаблением поля, предусмотрен нереверсивный управляемый тиристорный возбудитель, выполненный по однофазной мостовой схеме выпрямления с нулевым вентилем.

Принципиальная электрическая схема тиристорного возбудителя двигателя ротора приведена на рисунке 11.

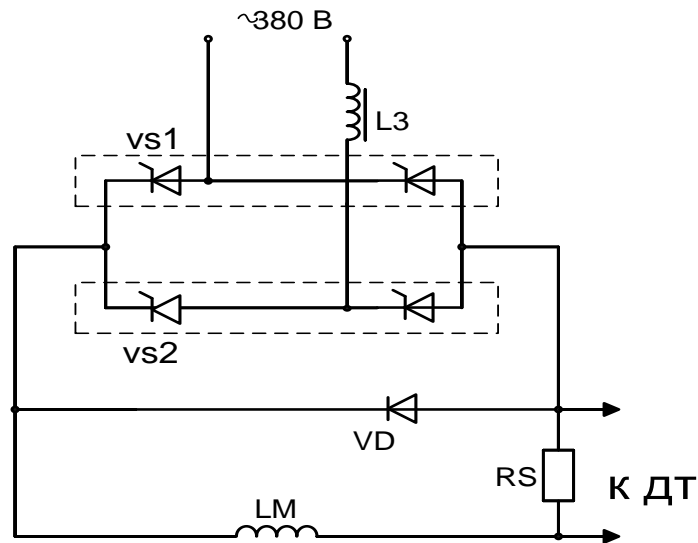


Рисунок 11-Схема тиристорного возбудителя.

Управляемый выпрямитель возбудителя выполнен по однофазной мостовой схеме выпрямления с нулевым вентилем. К однофазной сети возбудитель подключается через токоограничивающий реактор L3.

Номинальное напряжение обмотки возбуждения двигателя

$$U_{вн} = I_{вн} \cdot R_{овгор} = 6,5 \cdot 28,86 = 187,59 \text{ В.}$$

Требуемое напряжение однофазной сети

$$U_c = \frac{K_{u2} \cdot U_{вн}}{\cos \alpha_{мин}} = \frac{1,11 \cdot 187,59}{\cos 30^\circ} = 240,4 \text{ В.}$$

Для обеспечения коэффициента форсировки при восстановлении потока двигателя принимаем номинальное напряжение однофазной сети возбудителя

$$U_{\text{сн}} = U_{\text{л}} = 380 \text{ В.}$$

Необходимое значение индуктивности токоограничивающего реактора

$$Z_{p3} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_{\text{фн}}}{100 \cdot I_{\text{фрасч}}} = \frac{5,5 \cdot 380}{100 \cdot 12,21} = 1,712 \text{ Ом,}$$

где

$$I_{\text{фрасч}} = K_{\text{иф}} \cdot K_i \cdot I_{\text{дн}} = 1,11 \cdot 1,1 \cdot 10 = 12,21 \text{ А - расчетный ток, потребляемый из сети;}$$

$$I_{\text{дн}} = 10 \text{ А - номинальный выпрямленный ток типового возбудителя;}$$

$$U_{\text{кз}} = 5,5\% \text{ - напряжение К.З. реактора.}$$

Пренебрегая активным сопротивлением реактора  $R_p \approx 0$  определим индуктивное сопротивление и индуктивность обмотки реактора

$$X_{\text{фрасч}} = Z_{\text{фрасч}} = 1,712 \text{ Ом,}$$

$$L_{\text{фрасч}} = \frac{X_{\text{фрасч}}}{\omega_c} = \frac{1,712}{314} = 5,45 \cdot 10^{-3} \text{ Гн,}$$

$$\text{где } \omega_c = 2\pi \cdot f_c = 2 \cdot 3,14159 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.}$$

Выбираем типовой блок возбудителя двигателя БВД исполнения «01» с параметрами:

$$I_{\text{дн}} = 10 \text{ А - номинальный ток;}$$

$$U_{\text{упв макс}} = 10 \text{ В - максимальное напряжение управления на входе возбудителя;}$$

$$\alpha_{\text{мин}} = 30^\circ, \alpha_{\text{нач}} = 150^\circ, \alpha_{\text{макс}} = 180^\circ \text{ - углы управления возбудителем.}$$

Среднее значение ЭДС возбудителя при угле управления  $\alpha = 0^\circ$

$$E_{\text{дов}} = \frac{U_c}{K_{u2}} = \frac{380}{1,11} = 342 \text{ В.}$$

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного возбудителя

$$K_{\text{тпв макс}} = \frac{\pi \cdot E_{\text{дов}}}{U_{\text{упв макс}}} \cdot \frac{\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{мин}}}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 342}{10} \cdot \frac{150^\circ - 30^\circ}{180^\circ} = 71,5.$$

Регулировочная характеристика возбудителя имеет вид (см. рисунок 12)

$$E_{\text{тпв}} = \frac{E_{\text{дов}}}{2} \cdot (1 + \cos \alpha).$$

Постоянная времени тиристорного возбудителя

$$T_{\text{ТПВ}} = \frac{0,5}{m_B \cdot f_C} = \frac{0,5}{2 \cdot 50} = 0,005 \text{ с.}$$

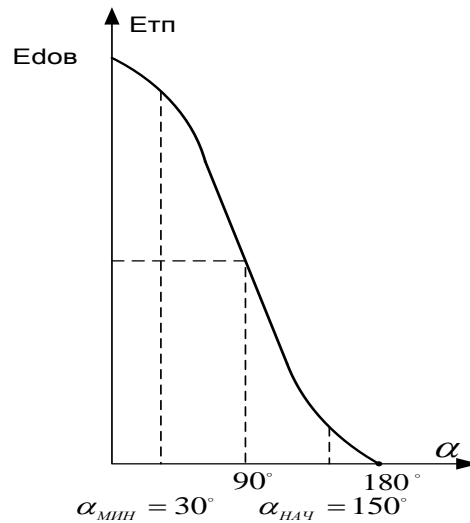


Рисунок 12 -Регулировочная характеристика возбудителя

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения

$$K_{\text{ДТВ}} = \frac{U_{\text{дтв макс}}}{I_{\text{двн}}} = \frac{10}{10} = 1 \text{ В/А.}$$

Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя

Сопротивление цепи обмотки возбуждения (активным сопротивлением цепи тиристорного возбудителя пренебрегаем)

$$R_{\text{цв}} = R_{\text{овгор}} + 0,1 R_{\text{овгор}} = 28,86 + 0,1 \cdot 28,86 = 31,746 \text{ Ом.}$$

Постоянная времени основного потока обмотки возбуждения

$$T_{\text{с}} = \frac{L_{\text{ос}}}{R_{\text{цв}}} = \frac{60,18}{31,746} = 1,9 \text{ с.}$$

Постоянная времени потока рассеяния обмотки возбуждения

$$T_s = \frac{L_s + L_{\text{ТПВ}}}{R_{\text{цв}}} = \frac{13,17 + 5,45 \cdot 10^{-3}}{31,746} = 0,415 \text{ с,}$$

где  $L_{\text{ТПВ}} = L_{\text{фрасч}} = 5,45 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$

- индуктивность цепи возбудителя.

Постоянная времени вихревых токов



$$T_{\kappa} \cong 0,1 \cdot T_{\epsilon} = 0,1 \cdot 1,9 = 0,19 \text{ Гн.}$$

Цепь обмотки возбуждения представим в виде передаточной функции

$$W(p) = \frac{1/R_{\text{уг}}}{(T_1 \cdot p + 1)(T_2 \cdot p + 1)} = \frac{1/31,746}{(2,47 \cdot p + 1)(0,032 \cdot p + 1)},$$

где  $T_1$  и  $T_2$  постоянные времени ( $T_1 \gg T_2$ ), равные

$$\begin{aligned} T_{1,2} &= \frac{T_{\epsilon} + T_s + T_{\kappa}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_{\epsilon} + T_s + T_{\kappa}}{2}\right)^2 - T_s \cdot T_{\kappa}} = \\ &= \frac{1,9 + 0,415 + 0,19}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{1,9 + 0,514 + 0,19}{2}\right)^2 - 0,415 \cdot 1,19} = \\ &= 1,2525 \pm 1,22, \end{aligned}$$

тогда  $T_1 = 2,47 \text{ с}$ ,  $T_2 = 0,032 \text{ с}$ .

## 2.7 Определение области допустимой работы электропривода ротора

Область работы электропривода ограничена с одной стороны допустимым током двигателя и преобразователя:  $I_{\text{ЭП макс}} = 2 \cdot I_{\text{ДВН}} = 700 \text{ А}$  при  $\Phi_{\text{ДВ}} = \Phi_{\text{ДВН}}$  и  $I_{\text{ЭП макс}} = 1,5 \cdot I_{\text{ДВН}} = 555 \text{ А}$  при  $\Phi_{\text{ДВ}} < \Phi_{\text{ДВН}}$ , а с другой стороны минимальным углом управления преобразователем  $\alpha = \alpha_{\text{мин}}$ .

Минимальный угол управления преобразователем якорной цепи при пониженном напряжении сети

$$\alpha_{\text{мин}} = \arccos \frac{C \cdot \omega_{\text{ДВН}} + I_{\text{ДВН}} \cdot R_{\text{яц}}}{K_{\text{ис}} \cdot E_{\text{д0}}} = \arccos \frac{8,353 \cdot 50,256 + 370 \cdot 0,0921}{0,9 \cdot 512,6} = 10,33^\circ$$

принимаем  $\alpha_{\text{мин}} = 10^\circ$

Предельная электромеханическая характеристика привода при  $\alpha_{\text{мин}}$  и потоке двигателя  $\Phi_{\text{ДВ}}$  определяется выражением

$$\omega(I) = \frac{1}{K \cdot \Phi_{\text{ДВ}}} (K_{\text{ис}} \cdot E_{\text{д0}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - I_{\text{ДВ}} \cdot R_{\text{яц}}).$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2

Таблица- 2

	$K_{uc}=0.9$			
$\Phi_{дв}=0,1025$	$I_{дв}$ А	0	$I_{двн}$ 370	$I_{двмакс}$ 700
	$\omega_{дв}$ рад•с	54,391	50,312	46,673
	$K_{uc}=1$			
$\Phi_{дв}=0,1025$	$I_{дв}$ А	0	$I_{двн}$ 370	$I_{двмакс}$ 700
	$\omega_{дв}$ рад•с	60,435	56,353	52,716
	$K_{uc}=0.9$			
$\Phi_{дв}=0,037$	$I_{дв}$ А	0	$I_{двн}$ 370	$I_{двмакс}$ 555
	$\omega_{дв}$ рад•с	146,7	135,7	130,2
	$K_{uc}=1$			
$\Phi_{дв}=0,037$	$I_{дв}$ А	0	$I_{двн}$ 370	$I_{двмакс}$ 555
	$\omega_{дв}$ рад•с	163	152	146,5

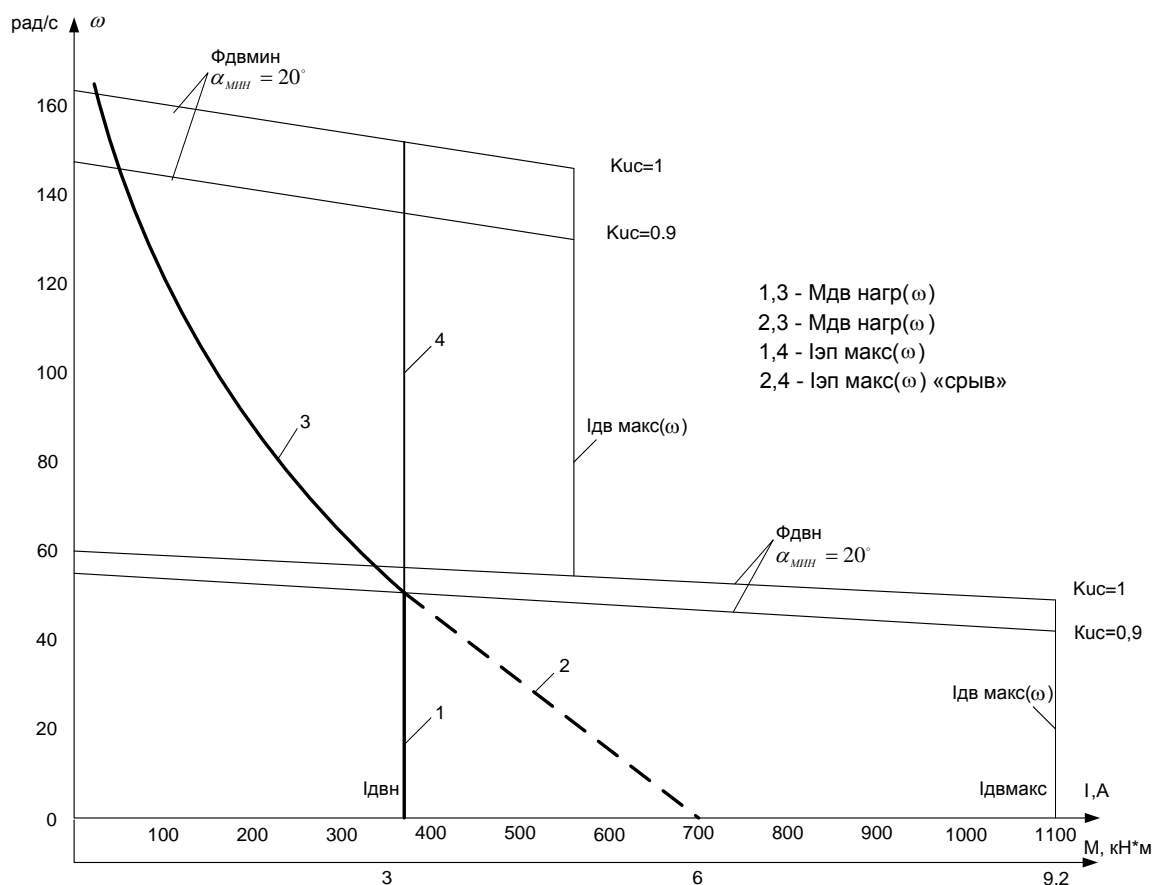


Рисунок 13- Область допустимой работы электропривода ротора

По табличным данным на рисунке 13 построены предельные характеристики электропривода ротора, ограничивающие его область допустимой работы в 1 квадранте.

Преобразователь электропривода ротора неревверсивный, поэтому в инверторном режиме он может обеспечить работу привода в 4 квадранте, при активной нагрузке на валу двигателя. Нагрузка механизма ротора реактивная по характеру, поэтому работа привода возможна только в 1 квадранте.

На рисунке 13 в области работы электропривода нанесена предельная характеристика 1-2-3, учитывающая допустимые нагрузки механизма ротора (см. рисунок 2 и 3). Характеристика 1-2-3 полностью располагается в области допустимой работы электропривода, что гарантирует возможность привода обеспечить требуемые предельные нагрузки механизма ротора.

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c},$$

где:  $E_d = E_{d0} \cdot \cos(\alpha)$  – среднее значение выпрямленной ЭДС в режиме непрерывного тока;

$\alpha$  – угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

$\Delta U_{\epsilon}$  – прямое падение напряжение на тиристоре.

Для получения соответствующей скорости вращения вала двигателя произведем ряд преобразований и получим выражение для нахождения угла управления в функции скорости:

$$\alpha(\omega) = \arccos \left( \frac{\omega \cdot c + I_d \cdot R_{яц} + \Delta U_{\epsilon}}{E_{d0}} \right).$$

Для построение электромеханических характеристик в зоне непрерывного тока воспользуемся итоговым выражением:

$$\omega(I) = \frac{E_{d0} \cdot \cos(\alpha(\omega)) - I \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c}.$$

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол  $\alpha$ . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем, что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрям-

ленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к прерывистому соответствует режим начально-непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла  $\alpha$  и параметров схемы.

Проведем расчет и построение характеристик в зоне прерывистых токов. Для этого найдем угол открывания, измеренный от начала положительной полуволны синусоиды фазной ЭДС:

$$\theta_0(\alpha) = \frac{180}{\pi} \cdot \left( \alpha(\omega) + \left( \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_e} \right) \right).$$

Значение ЭДС в относительных единицах в зависимости от угла управления  $\alpha$  в зоне прерывистых токов:

$$e(\alpha) = \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{\sin\left(\left(\theta_0(\alpha) - \theta\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \sin\left(\left(\theta_0(\alpha) + \lambda - \theta\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}{1 - e^{\lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}$$

где угол  $\lambda = \frac{2 \cdot 180}{m_e} = 60$  град – угол проводимости тиристоров;

угол  $\theta$  – угол отставания тока в якоре от напряжения. Он обусловлен присутствием в цепи якоря индуктивности  $L_{яц}$ . Угол  $\theta$  найдем по выражению:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega_0 \cdot L_{яц}}{R_{яц}}\right) \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(\alpha) = \frac{m_e}{2 \cdot \pi} \left( \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left((\lambda + \theta_0(\alpha)) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot e_{cp}(\alpha) \right),$$

Характеристики режима прерывистого тока можно построить в абсолютных единицах  $\omega = f(I)$  по следующим выражениям:

$$\omega(\alpha) = e(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right) - \Delta U_e}{c},$$

$$I(\alpha) = i(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right)}{R_{яц}}.$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристоров  $\alpha$  (в диапазоне  $0 \dots 180$ ) и угол проводимости  $\lambda$  ( $0 \dots 60$ ), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 7:

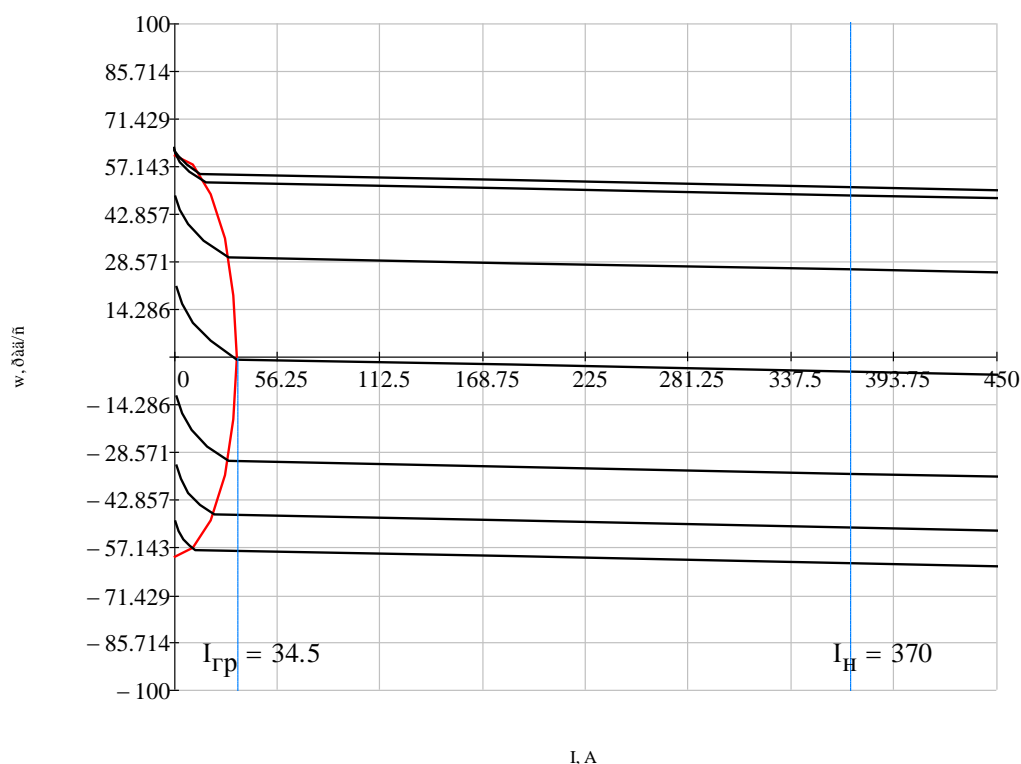


Рисунок 14 – Электромеханические характеристики системы УВ–Д с раздельным управлением

Для получения граничной характеристики можно воспользоваться выражениями для скорости и тока в зоне прерывистого тока, задавая угол  $\lambda = 60$  град и меняя угол управления  $\alpha$ .

## 2.8 Структурная схема силового канала электропривода ротора

Структурная схема силового канала электропривода приведена на рисунке 15. Параметры элементов силового канала сведены в таблицу 3.

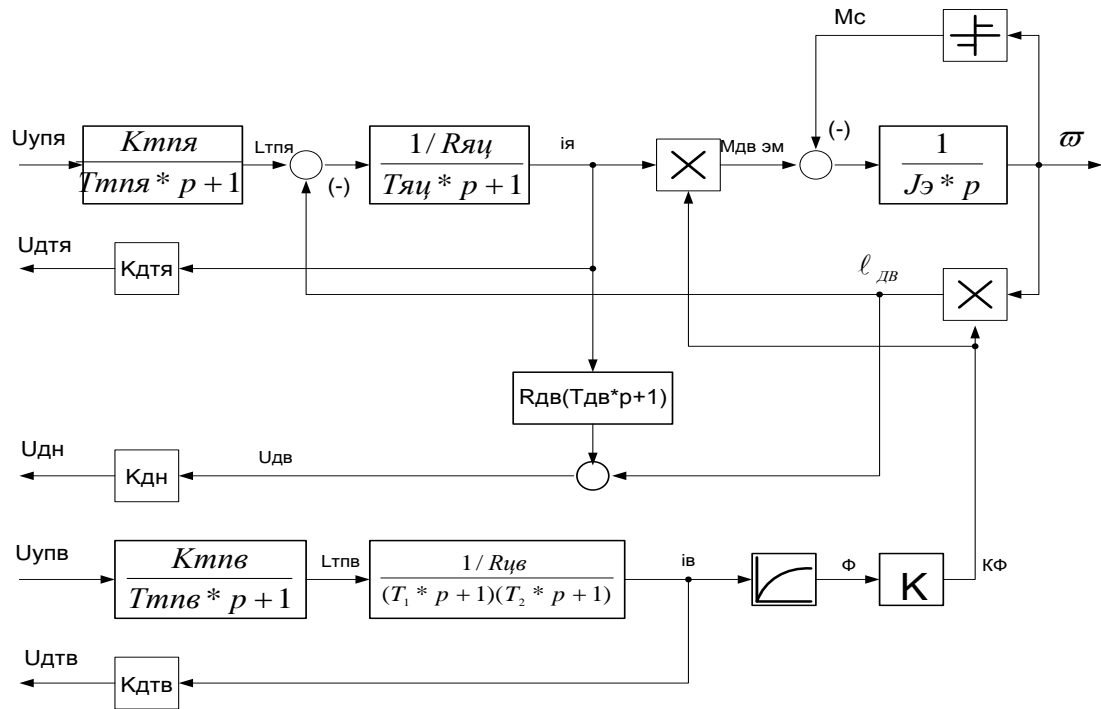


Рисунок 15- Структурная схема силового канала электропривода.

Коэффициент передачи датчика тока якоря

$$K_{д\pi\alpha} = \frac{U_{д\pi\alpha\text{макс}}}{I_{\alpha\text{макс}}} = \frac{10}{1000} = 0,01 \text{ В/А.}$$

Коэффициент передачи датчика напряжения двигателя

$$K_{дн} = \frac{U_{дн\text{макс}}}{U_{\text{макс}}} = \frac{10}{500} = 0,02.$$

Коэффициент передачи датчика тока преобразователя возбуждения

$$K_{д\pi\upsilon} = \frac{U_{д\pi\upsilon\text{макс}}}{I_{\upsilon\text{макс}}} = \frac{10}{10} = 1 \text{ В/А.}$$

Эквивалентная индуктивность цепи обмотки возбуждения

$$L_{цв\alpha} = T_1 \cdot R_{цв} = 2,47 \cdot 31,746 = 78,4 \text{ Гн.}$$

Таблица3 –Параметры элементов силового канала электропривода ротора

$K_{т\pi\alpha}$	$T_{т\pi\alpha},$ с	$R_{\alpha\pi},$ Ом	$L_{\alpha\pi},$ Гн	$R_{дв\text{ гор}},$ Ом
98,412	0,00167	0,0921	0,004402	0,04928
$L_{дв},$ Гн	$T_{\alpha\pi},$ с	C	$J_{\alpha},$ кг*м <sup>2</sup>	$K_{д\pi\alpha},$ В/А
0,0042	0,047796	8,353	30,5	0,01
$K_{дн}$	$K_{т\pi\beta}$	$T_{т\pi\beta},$ С	$R_{ц\beta},$ Ом	$T_1,$ С
0,02	71,52	0,00167	31,746	2,47
$T_2,$ С	$L_{ц\beta\alpha},$ Гн	К	$K_{д\pi\beta},$ В/А	$M_c$
0,037	78,4	81,493	1	369,25



## **3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОТОРА**

### **3.1 Функциональная схема электропривода бурового ротора**

Функциональная схема электропривода ротора приведена на рисунке 16.

Основные функциональные устройства электропривода ротора:

МР-электродвигатель ротора;

ТП-тиристорный преобразователь;

ОВ-обмотка возбуждения двигателя;

СК-сельсинный командоаппарат;

САР<sup>”ндв”</sup>-система автоматического управления скоростью электропривода;

САР<sup>”Iв”</sup>-система автоматического управления током возбуждения двигателя.

Устройства САР скорости электропривода расположены в базовом блоке регуляторов (БРБ) и включают в себя следующие функциональные узлы:

ФЧВ-фазочувствительное выпрямительное устройство;

ЗИ-задатчик интенсивности;

УОС- устройство ограничения сигнала задания скорости;

УОВ- узел ослабления тока возбуждения;

РС- регулятор скорости;

РТЯ- регулятор тока якоря;

УОТ- узел ограничения тока якорной цепи;

В блоке возбуждения двигателя (БВД) находятся следующие функциональные узлы:

РТВ- регулятор тока возбуждения;

ДТВ- датчик тока возбуждения;

ТПВ- тиристорный возбудитель двигателя, выполненный по нереверсивной однофазной мостовой схеме выпрямления.

Датчики тока якоря ДТЯ и напряжения ДН двигателя конструктивно расположены в других блоках.

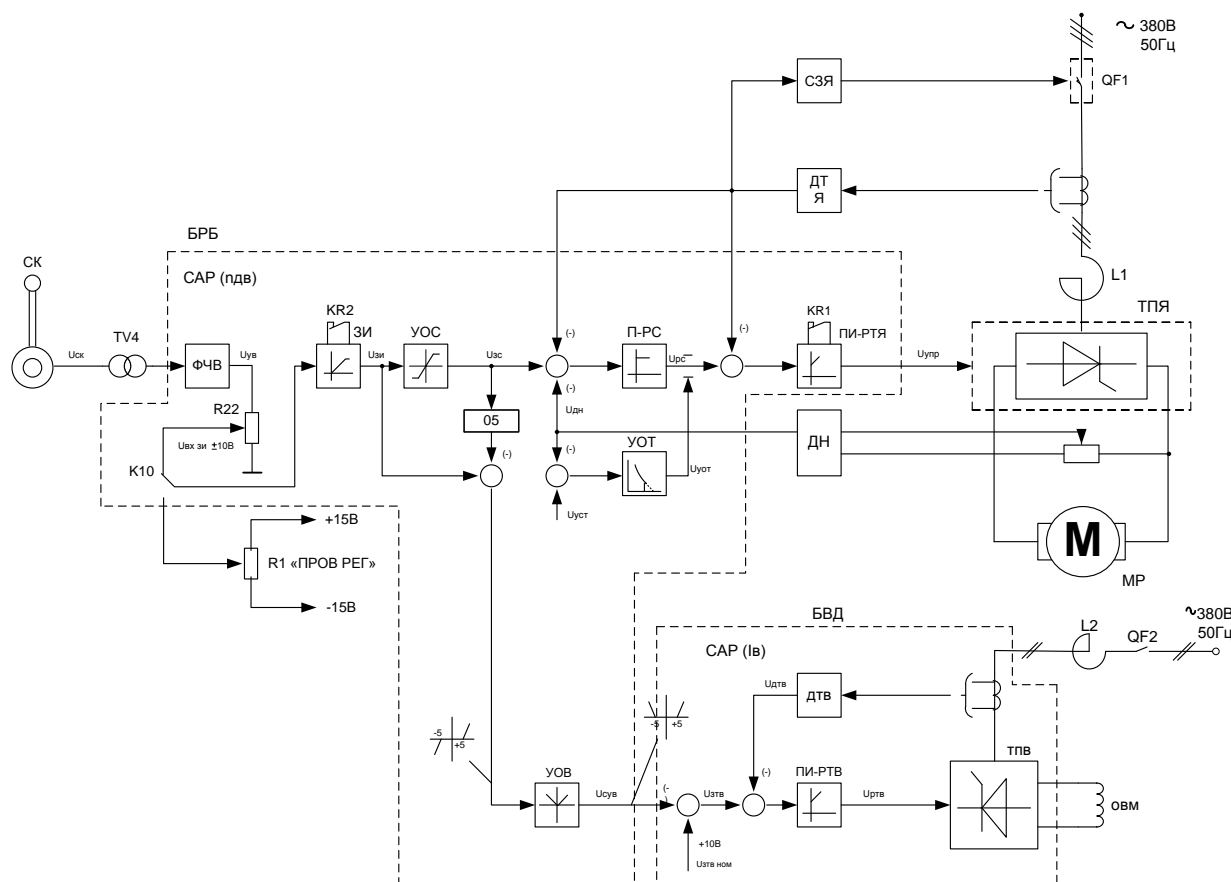


Рисунок 16- Функциональная схема электропривода ротора.

Электропривод бурового ротора выполнен по системе ТП-Д постоянного тока, предусматривает двухзонное регулирование скорости и состоит из неперевсивных систем управления напряжением якоря  $U_a$  и управления током  $I_b$  и потоком  $\Phi$  возбуждения двигателя. На установке БУ 2900/200 применена схема с ручным управлением возбуждения двигателя.

Управление скоростью двигателя в первой зоне, при постоянном токе возбуждения осуществляется регулятором скорости РС и тока якоря РТЯ. В качестве обратной связи по скорости используется обратная связь по ЭДС двигателя, для чего на вход РС подаются сигналы обратной связи по напряжению (отрицательной) и току (положительной). Система действует как обычная двухконтурная система однозонного регулирования скорости двигателя.

Скорость вращения ротора задаётся сельсинным командоаппаратом СК с пульта бурильщика. Выходной сигнал сельсина через согласующий трансформатор, задатчик интенсивности ЗИ и узел ограничения скорости УОС поступает на вход регулятора скорости РС.

Входная цепь РС настраивается таким образом, что номинальное значение напряжения на якоре ( $U_{дв}$ , ЭДС двигателя  $E_{дв}$  и скорость вращения  $n_{дв}$ ) достигаются уже при среднем положении рукоятки СК, т.е. при сигнале задания скорости  $U_{вх.зи}$  равном 5В.

Дальнейший рост сигнала  $U_{вх.зи}$  приводит к увеличению скорости за счет уменьшения тока возбуждения. Управление скоростью двигателя в этой зоне осуществляется по каналу возбуждения с помощью регулятора тока возбуждения РТВ.

Принцип формирования сигнала задания скорости двигателя  $U_{зс}$  и тока возбуждения  $U_{зтв}$  показан на рисунке 18. Сигнал задания, поступающий с выхода ЗИ, усиливается с помощью УОС с коэффициентом 2 и ограничивается на уровне 10В, что соответствует максимальной скорости двигателя в 1 зоне (примерно номинальному напряжению двигателя  $U_{дв н}$ ). УОВ представляет собой сумматор сигналов с выходов ЗИ и УОС, причём сигнал с последнего суммируется с коэффициентом 0,5. Сигнал задания тока возбуждения  $U_{зтв}$  на входе РТВ формируется как разность постоянного сигнала задания  $U_{зтв ном}$ , соответствующего номинальному току возбуждения  $I_{вн}$ , и сигнала с УОВ. На второй вход РТВ подается сигнал отрицательной обратной связи по току возбуждения.

Система управления током возбуждения действует следующим образом. В первой зоне сигнал на выходе РТВ остается постоянным и соответствующим номинальному току возбуждения. При изменении сигнала задания скорости  $U_{вх.зи}$  в диапазоне от 0 до 5В регулирование скорости происходит за счет увеличения напряжения двигателя  $U_{дв}$  в диапазоне от 0 до номинального значения  $U_{дв н}$ . При этом сигнал на выходе УОВ равен 0.

Увеличение сигнала  $U_{вх\text{зи}}$  от 5 до 10 В приводит к изменению на выходе УОВ напряжения в диапазоне от 0 до 5В, что приводит к уменьшению напряжения задания тока возбуждения  $U_{зтв}$ . После его поступления на вход РТВ это приводит к снижению тока возбуждения и к соответствующему увеличению скорости двигателя во второй зоне регулирования.

Таким образом, управление как напряжением якоря, так и возбуждением выполняется от одного органа управления - СК. Рассмотренная схема обеспечивает приблизительно линейную зависимость скорости двигателя от  $U_{вх\text{зи}}$  в диапазоне от 0 до максимальной величины при ослабленном поле двигателя (рисунок 18).

Ограничение максимально допустимого тока двигателя достигается ограничением выходного напряжения регулятора скорости на уровне

$$U_{рс\text{ доп}} = K_t \cdot I_{эп\text{ макс}}.$$

В электроприводе ротора дополнительно может быть реализовано токоограничение в соответствии с выражением

$$U_{рс\text{ доп}} (U_{дв}) = K_t \cdot I_{эп\text{ макс}} (\omega_{дв}).$$

Требуемую зависимость  $I_{эп\text{ макс}} (\omega_{дв})$  формирует устройство ограничения тока УОТ в функции напряжения на двигателе (рисунок 18, характеристика 2).

Настройка контура тока осуществляется из условия обеспечения максимально допустимого тока  $I_{эп\text{ макс}} = 700\text{А}$  при  $U_{зт\text{макс}} = U_{рс\text{макс}} = 10\text{В}$ .

Настройка контура скорости осуществляется из условия обеспечения скорости двигателя  $n_{двн} = (500 \div 520)\text{об/мин}$ , напряжения на двигателе

$$U_{дв\text{н}} = (440 \div 460)\text{В при } U_{вх\text{зи}} = 5\text{В} (U_{зс} = U_{уос} = 10\text{В}).$$

Контур регулирования тока возбуждения настраивается таким образом, чтобы номинальный ток возбуждения  $I_{вн} = 6,5\text{А}$ , достигался при  $U_{зтв} = 10\text{В}$ .

Коэффициенты входной цепи РТВ для цепи от УОВ подбираются таким образом, чтобы при  $U_{вх\text{зи}} = 10\text{В}$  минимальный ток возбуждения двигателя был бы равен  $I_{в\text{ мин}} \approx 1,5\text{А}$ . Скорость двигателя при этом должна иметь значение  $n_{дв\text{ макс}} \approx 1342\text{об/мин}$ , а напряжение на двигателе  $U_{дв} = 440 \div 460\text{ В}$ . Темп

разгона приводного двигателя ротора должен быть ограничен. Время пуска до максимальной скорости  $n_{\text{двмакс}}$  не должно быть менее 4с.

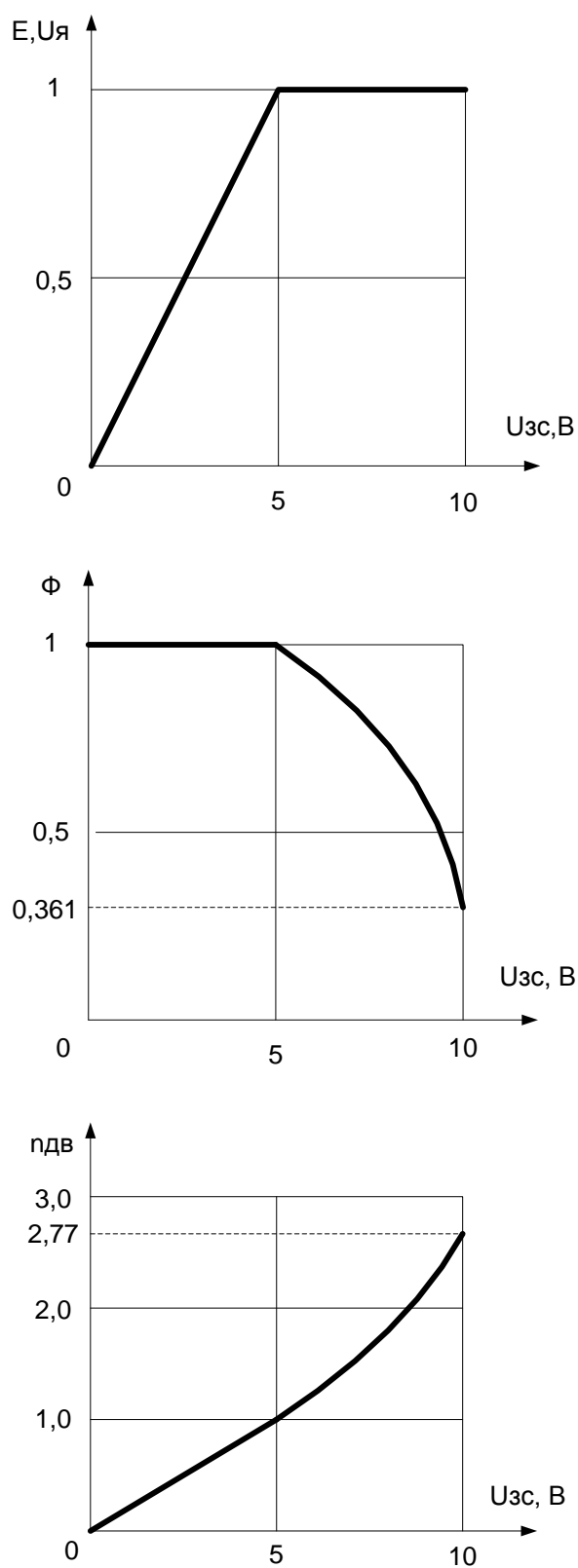


Рисунок17- Характеристики системы двухзонного регулирования с ручным управлением возбуждением.

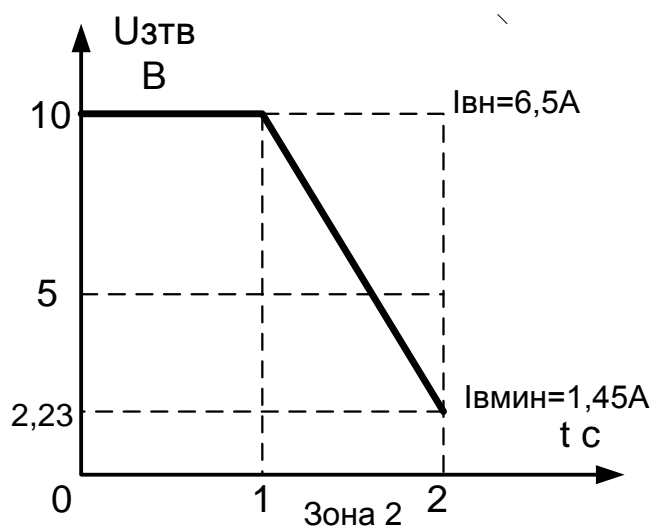
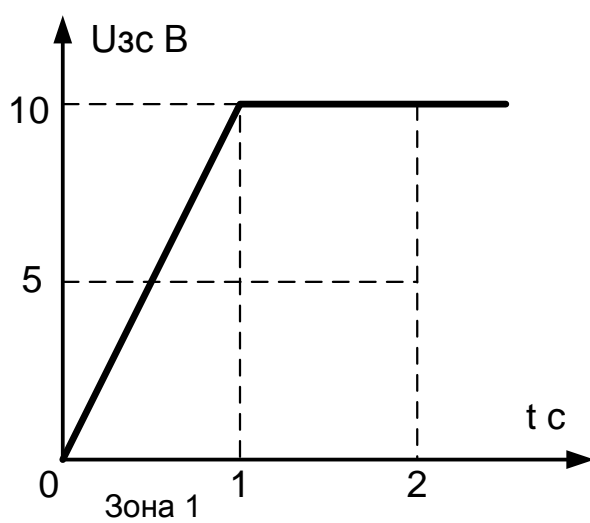
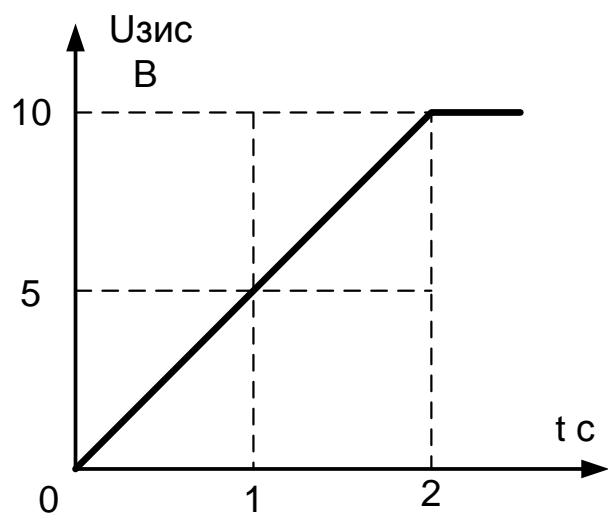


Рисунок18- Характеристики сигналов управления скоростью и потоком двигателя

### 3.2 Структурная схема САР скорости электропривода ротора

Структурная схема линейризованной САР скорости электропривода ротора приведена на рисунке 19.

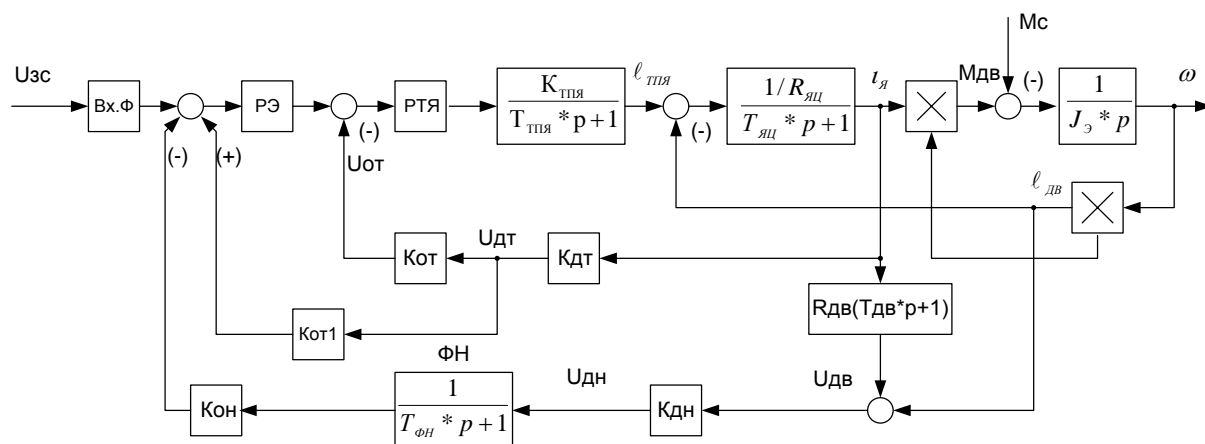


Рисунок 19 - Структурная схема САР скорости электродвигателя привода ротора

На схеме приняты следующие обозначения:

Вх.Ф – входной фильтр;

РЭ – регулятор ЭДС;

РТЯ – регулятор тока якорной цепи;

ФН – сглаживающий фильтр цепи обратной связи по напряжению;

Кот, Кон – коэффициенты передачи входных цепей регуляторов.

САУ электропривода ротора реализована как двухконтурная с внутренним контуром тока и внешним контуром ЭДС двигателя. Формирование сигнала обратной связи по ЭДС двигателя осуществляется суммированием входных сигналов, пропорциональных напряжению двигателя и падению напряжения в якорной цепи (току якорной цепи). Суммирование сигналов производится непосредственно на входе регулятора ЭДС, на вход которого подаётся две обратных связи: отрицательная обратная связь по напряжению двигателя и положительная обратная связь по току якорной цепи.

Входной фильтр Вх.ф на входе контура ЭДС и фильтр в цепи обратной связи по напряжению могут быть установлены при необходимости.

Оптимизация САР скорости электропривода сводится к определению типа регуляторов, определения параметров регуляторов и цепей обратных связей, обеспечивающих технически оптимальные переходные процессы.

Оптимизация проводится в два этапа:

- первый этап аналитический для линеаризованной системы регулирования;
- второй этап метод имитационного моделирования с учетом влияния ЭДС двигателя основных нелинейностей электропривода.

### 3.3 Оптимизация контура тока

Оптимизацию контура тока осуществляем без учета отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем. Структурная схема приведена на рисунке20, где пунктирной линией показана неучтенная обратная связь по ЭДС двигателя.

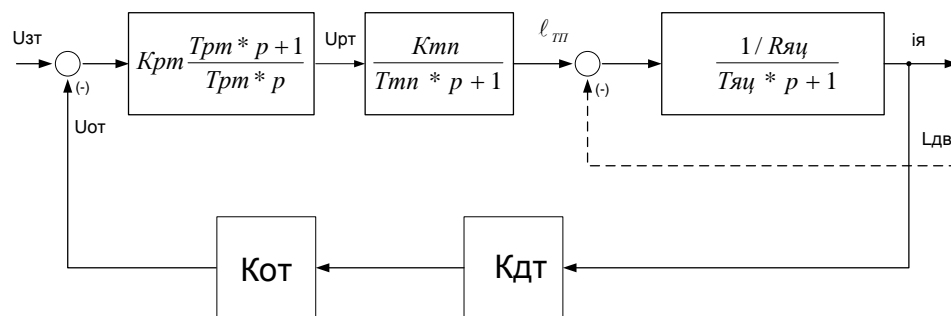


Рисунок20- Структурная схема контура тока

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными времени  $T_{яц}=47,796 \cdot 10^{-3}$ с и  $T_{тп}=0,00167$ с. Отношение  $T_{яц}/T_{тп}=$

$$\frac{47,796 \cdot 10^{-3}}{1,67 \cdot 10^{-3}} = 28.62 \text{ значительно больше единицы, следовательно принимаем:}$$

- $T_{\mu T} = T_{тп} = 0,00167$  с –малая постоянная времени контура тока;

- $T_{яц}=0,047796$  с - большая постоянная контура, которую следует компенсировать.



Контур тока настраиваем на модульный оптимум (МО). С учетом параметров контура выбираем ПИ- регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{PT}} = K_{\text{PT}} \cdot \frac{T_{\text{PT}} \cdot p + 1}{T_{\text{PT}} \cdot p},$$

где  $T_{\text{PT}} = T_{\text{яц}} = 0,047796\text{с}$

- постоянная времени регулятора;

$$K_{\text{PT}} = \frac{R_{\text{яц}} \cdot T_{\text{яц}}}{K_{\text{ТП}} \cdot K_{\text{T}} \cdot a_{\text{T}} \cdot T_{\text{мт}}} = \frac{0,0921 \cdot 0,047796}{98.412 \cdot 0.014286 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 0,9375$$

- коэффициент усиления регулятора;

$$K_{\text{T}} = \frac{U_{\text{зтмакс}}}{I_{\text{эпмакс}}} = \frac{10}{700} = 0,014286 \text{ В/А}$$

- коэффициент обратной связи по току;

$a_{\text{T}} = 2$ - коэффициент оптимизации контура тока по МО.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$$K_{\text{OT}} = \frac{K_{\text{T}}}{K_{\text{ДТ}}} = \frac{0,014286}{0,01} = 1.4286$$

Влияние ЭДС двигателя на работу контура тока оценивается отношением постоянных времени

$$\frac{T_{\text{м}}}{T_{\text{яц}}} = \frac{(0,0318 \div 0,04)}{47.796 \cdot 10^{-3}} = (0,67 \div 0,84)$$

Т.к. отношение мало, то будет сильное влияние ЭДС двигателя на процессы в контуре тока. При моделировании контура необходимо будет уточнить его настройку экспериментально.

Передаточная функция разомкнутого контура тока

$$W(p)_{\text{траз}} = \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p(T_{\mu T} \cdot p + 1)} = \frac{1}{2 \cdot 0,00167^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00167 \cdot p} =$$

$$= \frac{1}{5,57 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,00334 \cdot p}.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$W(p)_{\text{траз}} = \frac{1/K_T}{a_T \cdot T_{\mu T} \cdot p(T_{\mu T} \cdot p + 1) + 1} = \frac{1/K_T}{a_T \cdot T_{\mu T}^2 \cdot p^2 + a_T T_{\mu T} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{69.9}{5,57 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,0034p + 1}.$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$\delta = 4,3\%$  - перерегулирование,

$t_{\text{py1}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu T} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847$  с - время первого согласования;

$t_{\text{py2}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu T} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847$  с - время переходного процесса

при обработке ступенчатого управляющего задания;

$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{\Phi} = 0,71/T_{\mu T} = 0,71/0,00167 = 425,15$  рад/с –полоса пропускания по модулю и фазе или

$$f_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\pi} = \frac{425,15}{2 \cdot 3,14} = 67,7 \text{ Гц};$$

$\Delta I_{y, \text{уст}} = 0$  - установившаяся ошибка отработки входного воздействия.

### 3.4 Оптимизация контура ЭДС двигателя

Структурная схема контура ЭДС приведена на рисунке 21.

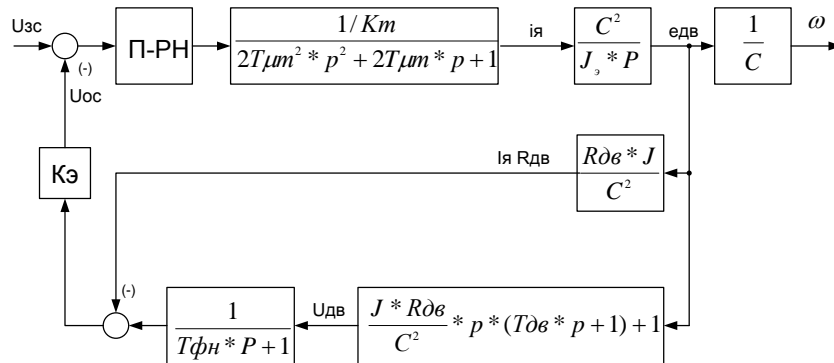


Рисунок21- Структурная схема контура ЭДС

Контур имеет два варианта реализации: с сглаживающим фильтром в цепи обратной связи по напряжению (с постоянной времени фильтра Тфн) и без фильтра. Оптимизация контура по МО достигается при выборе пропорционального регулятора ЭДС (П – РЭ) с коэффициентом усиления

$$K_{pэ} = \frac{J \cdot K_m}{K_{oc} \cdot C^2 \cdot T_{оэ}},$$

где  $Kэ = \frac{U_{зМАКС}}{E_{ДВН}} = \frac{10}{419,8} = 0,0238$

- коэффициент обратной связи по ЭДС двигателя;

$$E_{ДВН} = C \cdot \omega_{ДВН} = 8,353 \cdot 50,256 = 419,8 \text{ В}$$

- номинальное значение ЭДС двигателя;

$T_{э}$  – эквивалентная постоянная времени контура, с.

Вариант  $T_{фн}=0$

$$T_{э} = 2 \cdot T_{μэ} = 2 \cdot 0,032 = 0,064 \text{ с},$$

где  $T_{μэ} = T_{μт} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4 \cdot T_{μт}^2 + 2 \cdot T_{δв} \cdot \frac{J_{э} \cdot R_{δзгор}}{C^2}} =$

$$= 0,00167 + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4 \cdot 0,00167^2 + 2 \cdot 0,085 \cdot \frac{30,5 \cdot 0,04928}{8,353^2}} = 0,032 \text{ с},$$

тогда  $K_{Pэ} = \frac{J \cdot K_m}{K_{oc} \cdot C^2 \cdot T_{оэ}} = \frac{30,5 \cdot 0,014286}{0,0238 \cdot 8,353^2 \cdot 0,064} = 4,1.$

Вариант  $T_{\text{фн}}=T_{\text{дв}}=0,085\text{с}$ .

$$T_{\text{э}} = 2T_{\mu\text{э}} + T_{\text{дв}} = 2 \cdot 0,063 + 0,085 = 0,211 \text{ с},$$

где

$$\begin{aligned} T_{\mu\text{э}} &= T_{\mu\text{т}} + 0,5\sqrt{(2 \cdot T_{\mu\text{т}} + T_{\text{дв}})^2 + T_{\text{дв}}^2} = \\ &= 0,00167 + 0,5\sqrt{(2 \cdot 0,00167 + 0,085)^2 + 0,085^2} = 0,063 \text{ с}, \end{aligned}$$

$$\text{тогда } K_{\text{рэ}} = \frac{J \cdot K_m}{K_{\text{ос}} \cdot C^2 \cdot T_{\text{оэ}}} = \frac{30,5 \cdot 0,014286}{0,0238 \cdot 8,353^2 \cdot 0,211} = 1,24$$

Для настройки контура принимаем вариант с большим значением  $K_{\text{рэ}}=4,1$  при  $T_{\text{фн}}=0$  с. В этом случае на входе контура ЭДС сглаживающий фильтр не устанавливается.

Определим отношение

$$\frac{T_{\mu\text{э}}}{2 \cdot T_{\mu\text{т}}} = \frac{0,032}{2 \cdot 0,00167} = 9,61.$$

При отношении  $>1$  передаточная функция замкнутого контура, записанная для скорости вращения двигателя  $\omega$  как входной координаты, имеет вид

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{СК.ЗАМ}} &= \frac{\omega(p)}{U_{\text{ЗС}}(p)} = \frac{\frac{1}{K_{\text{э}} \cdot C}}{2T_{\mu\text{э}}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{\mu\text{э}} \cdot p + 1} = \\ &= \frac{1}{0,0238 \cdot 8,353} = \frac{5,03}{2 \cdot 0,032^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,032 \cdot p + 1} = \frac{5,03}{0,002048 \cdot p^2 + 0,064 \cdot p + 1}. \end{aligned}$$

Ожидаемые показатели работы контура:

$\delta=4,3\%$  - перерегулирование,

$t_{\text{пу1}}^{(5)}=t_{\text{пу}}^{(5)}=4,1 \cdot T_{\mu\text{э}}=4,1 \cdot 0,032=0,1312$  с – время первого вхождения 5% зону и время переходного процесса при обработке ступенчатого входного воздействия;

$$\omega_{\text{п}}^{(\text{ф})}=\omega_{\text{п}}^{(\text{м})}=\frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu\text{э}}}=\frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,032}=20,1 \text{ рад/с}$$

$$\text{или } f_{\text{п}}=\frac{\omega_{\text{п}}}{2\pi}=\frac{20,1}{2 \cdot 3,14}=3,2 \text{ Гц} - \text{полоса пропускания по фазе и модулю};$$

$$\Delta\omega_{B\text{ уст}} = \frac{T_{\text{э}} \cdot \Delta M_c}{J_{\text{э}}} = \frac{0,064 \cdot 2984,72}{24,09} = 7,43 \text{ рад/с} - \text{установившееся значение про-}$$

вала или всплеска угловой скорости вращения двигателя при набросе или сбросе нагрузки  $\Delta M_c = M_{\text{двн}} = 2984,72 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Коэффициенты передачи входных цепей регулятора ЭДС (см. рисунок ):

$$K_{\text{ОН}} = \frac{K_{\text{э}}}{K_{\text{дн}}} = \frac{0,0238}{0,02} = 1,19$$

- отрицательной обратной связи по напряжению;

$$K_{\text{ОТ1}} = R_{\text{двгор}} \frac{R_{\text{дн}}}{K_{\text{дтл}}} \cdot K_{\text{ОН}} = 0,04928 \cdot \frac{0,02}{0,01} \cdot 1,19 = 0,117$$

- положительной обратной связи по току.

С использованием прикладной программы LACH рассчитаны логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ) контура (рисунок 22).

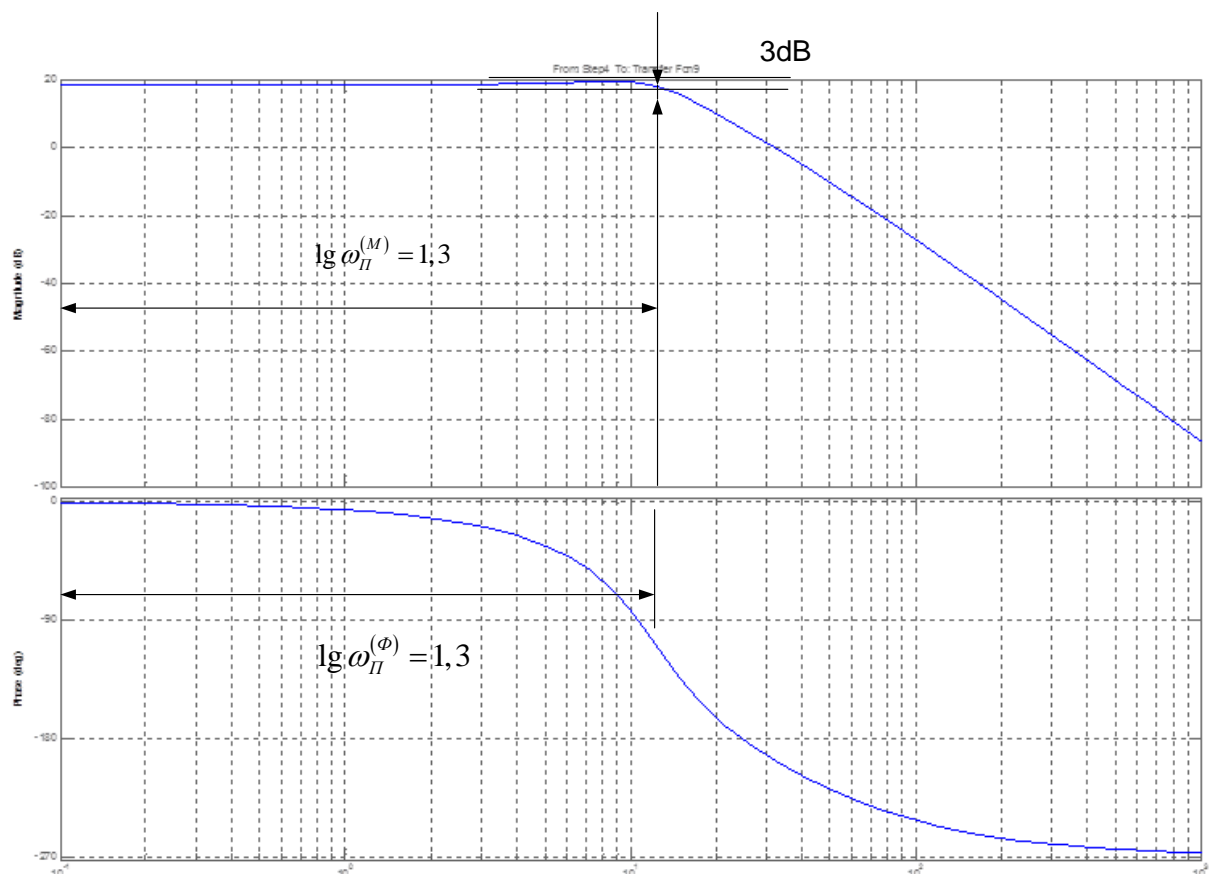


Рисунок 22 – ЛЧХ замкнутого контура ЭДС

По частотным характеристикам определили полосу пропускания контура по модулю и фазе

$$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = 10^{1,3} = 19,95 \text{ рад/с}$$

или

$$f_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\pi} = \frac{19,95}{2 \cdot 3,14} = 3,18 \text{ Гц.}$$

Полученные результаты хорошо совпадают с ожидаемыми показателями.

### 3.5 Структурная схема САР потока возбуждения двигателя

Структурная схема САР потока возбуждения двигателя приведена на рисунке 23. На схеме приняты следующие обозначения:

РТВ – регулятор тока возбуждения двигателя;

Котв – коэффициент передачи входной цепи регулятора обратной связи регулятора тока;

Uзтв – фактическое значение напряжения задания тока возбуждения.

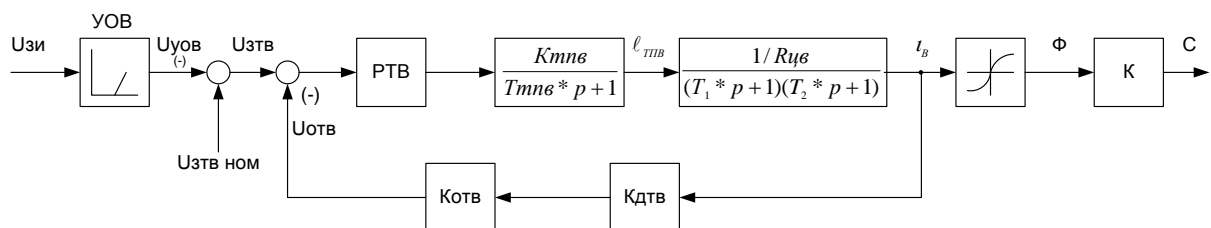


Рисунок 23 - Структурная схема САР потока возбуждения электродвигателя привода ротора

САР потока возбуждения двигателя представляет собой одноконтурную систему регулирования тока возбуждения. Задание на ток возбуждения на входе контура формируется в зависимости от положения сельсинного командоаппарата СК. Контур тока возбуждения стабилизирует ток возбуждения двигателя при колебаниях напряжения сети и ослабляет поток двигателя при  $U_{зи} > 5В$ .

## Оптимизация контура тока возбуждения двигателя

Структурная схема контура тока возбуждения приведена на рисунке 24.

Контур содержит три инерционных звена первого порядка (апериодических), при этом имеет место следующее соотношение постоянных времени

$$T_1 \gg (T_{\text{ТПВ}} + T_2).$$

Поэтому за малую постоянную времени контура примем

$$T_{\mu \text{ ТВ}} = (T_{\text{ТПВ}} + T_2) = 0,005 + 0,032 = 0,037 \text{ с},$$

а  $T_1 = 2,47 \text{ с}$  будем считать большой постоянной времени контура.

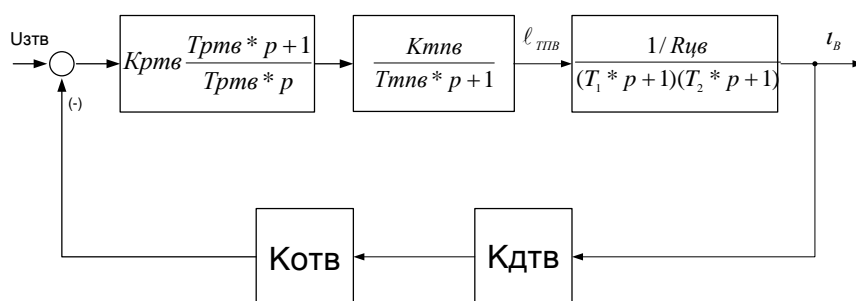


Рисунок 24 - Структурная схема контура тока возбуждения двигателя.

Оптимизация контура по МО достигается при выборе ПИ-РТВ с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{РТВ}} = K_{\text{РТВ}} \cdot \frac{T_{\text{РТВ}} \cdot p + 1}{T_{\text{РТВ}} \cdot p},$$

$$\text{где } K_{\text{РТВ}} = \frac{R_{\text{цв}} \cdot T_1}{K_{\text{мпв}} \cdot K_{\text{тв}} \cdot \alpha_{\text{тв}} \cdot T_{\mu \text{ ТВ}}} = \frac{31,746 \cdot 2,47}{71,5 \cdot 1,538 \cdot 2 \cdot 0,037} = 9,636$$

- коэффициент усиления регулятора;

$$K_{\text{ТВ}} = \frac{U_{\text{зтв макс}}}{I_{\text{вн}}} = \frac{10}{6,5} = 1,538 \text{ В/А}$$

- коэффициент обратной связи по току возбуждения;

$\alpha_{\text{ТВ}} = 2$  – коэффициент оптимизации по МО;

$$T_{\text{РТВ}} = T_1 = 2,47 \text{ с}$$

- постоянная времени регулятора.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТВ

$$K_{отв} = \frac{K_{тв}}{K_{дтв}} = \frac{1,538}{1} = 1,538.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока возбуждения

$$W(p)_{ТВЗам} = \frac{\frac{1}{K_{тв}}}{\alpha_{тв} \cdot T^2 \mu_{тв} \cdot p^2 + \alpha_{тв} \cdot T \mu_{тв} \cdot p + 1} = \frac{1/1,528}{2 \cdot 0,037^2 p^2 + 2 \cdot 0,037 \cdot p + 1} = \frac{0,65}{0,002738 \cdot p^2 + 0,074 \cdot p + 1}$$

Показатели качества работы контура:

$\delta = 4,3\%$  - перерегулирование;

$t^{(5)}_{ру1} = t^{(5)}_{ру2} = 4,1 \cdot T_{\mu_{тв}} = 4,1 \cdot 0,037 = 0,1517$  с – время переходного процесса;

$$\omega^{(\phi)}_{\Pi} = \omega^{(M)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu_{тв}}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,037} = 19,11 \text{ рад/с}$$

или

$$f_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\pi} = \frac{21,158}{2 \cdot 3,14} = 3,04 \text{ Гц} - \text{полоса пропускания};$$

$\Delta I_{уст} = 0$  - установившаяся ошибка отработки заданного значения тока возбуждения.



## 4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РОТОРА

### 4.1 Структурная схема нелинейной САУ ЭП ротора

Структурная схема нелинейной САУ электропривода ротора приведена на рисунке 25.

Основными нелинейностями САУ электропривода ротора являются:

- насыщение регуляторов ЭДС и тока

$$U_{РЭ\text{ МАКС}} = \pm 10\text{В}; U_{РТ\text{ МАКС}} = \pm 10\text{В};$$

- постоянное по величине ограничение тока двигателя в переходных режимах, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора напряжения на уровне

$$U_{РН\text{ ДОП}} = U_{ТО} = K_T \cdot I_{ЭП\text{ МАКС}} = 0,014286 \cdot 700 = 10\text{В};$$

- насыщение тиристорного преобразователя, соответствующее минимальному углу управления  $\alpha_{МИН} = 10^\circ$

$$E_{ТПЯ\text{ МАКС}} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{МИН} = 512,6 \cdot \cos 10^\circ = 504,8\text{В};$$

- насыщение тиристорного возбудителя

$$E_{ТПВ\text{ МАКС}} = \frac{E_{d0B}}{2} (1 + \cos \alpha_{МИН}) = \frac{342}{2} (1 + \cos 30^\circ) = 319\text{В};$$

- основным нелинейным элементом электропривода является нереверсивный тиристорный преобразователь, который имеет одностороннюю проводимость групп вентилей, дискретный характер управления, нелинейную регулировочную характеристику.

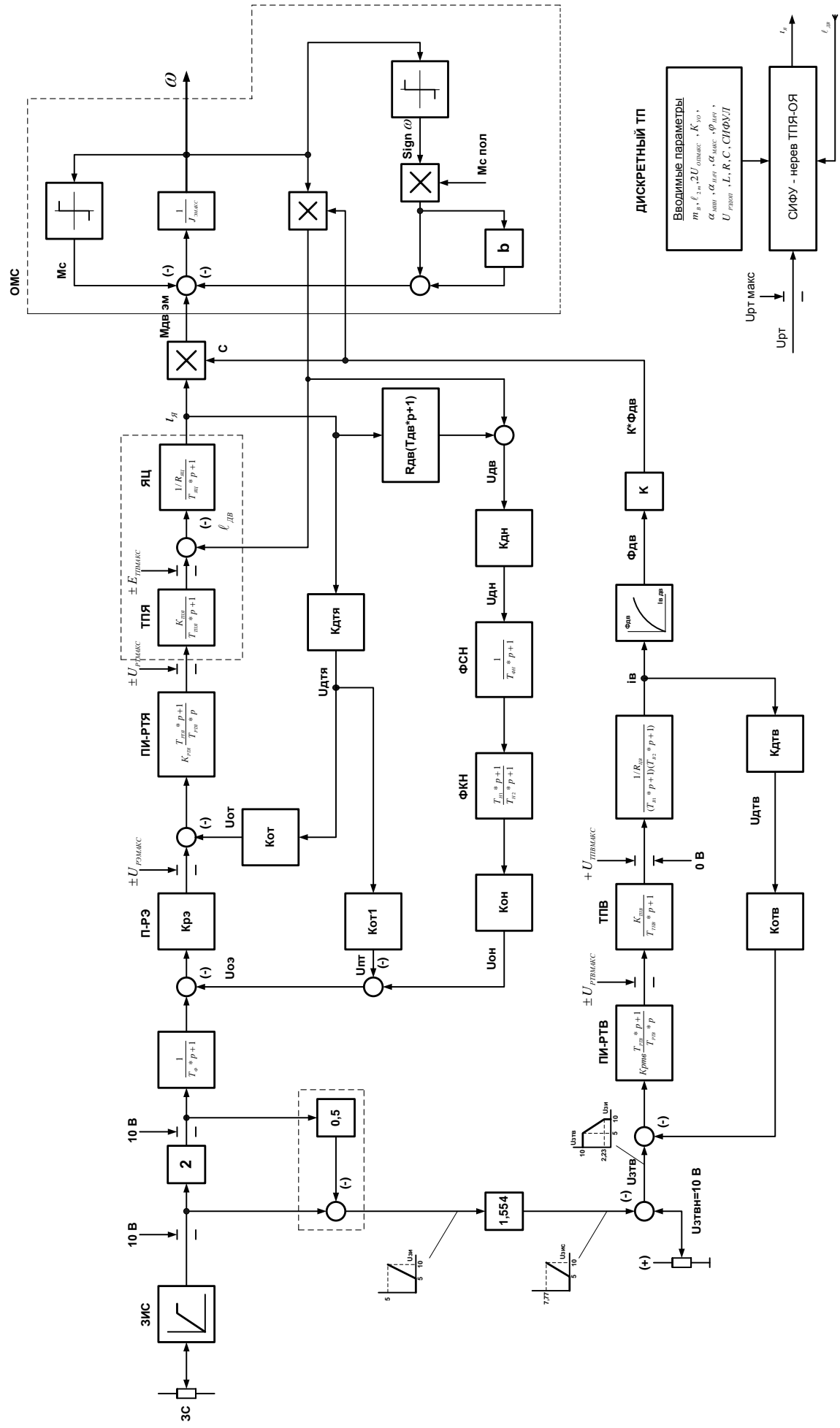


Рисунок 25 – Структурная схема нелинейной САУ электропривода ротора буровой установки БУ – 2900/200

Расчетные и экспериментальные (отмеченные \*) параметры звеньев структурной схемы электропривода приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Параметры нелинейной САУ электропривода механизма ротора

$U_{ЗС}$ В	$T_{ЗИС}$ с	$U_{ЗИС}$ В	$T_{Ф2,*}$ с	$K_{РЭ}$	$U_{РТМАКС}$ В	$U_{РНДОП}$ В	$K_{ДН}$
10	$\geq 4$ 2*	10	0,085	$\frac{4,1}{6 \div 8^*}$	$\pm 10$	10	0,02
$K_{ОТ1}$	$K_{ОН}$	$T_{ФН,*}$ с	$T_{Н1,*}$ с	$T_{Н2,*}$ с	$K_{РТ}$	$T_{РТ}$ с	$U_{РТМАКС}$ , В
0,117	1,19	0,075	0,08	0,01	0,9375	0,0478	$\pm 10$
$K_{ДТЯ}$ В/А	$K_{ОТ}$	$K_{ТПЯ}$	$T_{ТПЯ}$ с	$E_{ТПЯМАКС}$ В	$R_{ЯЦ}$ Ом	$T_{ЯЦ}$ с	$L_{ЯЦ}$ Гн
0,01	1,4286	98,4	0,00167	504,8	0,0921	0,0478	0,0044
$R_{ДВ}$ Ом	$T_{ДВ}$ с	$L_{ДВ}$ Гн	с	$J_{Э}$ кг*м <sup>2</sup>	$M_{С}$ Н*м	$M_{СПОЛ}$ Н*м	В
0,04928	0,0852	0,0042	8,353	24,1 ÷ 30,5	272	3100	0,0555
$U_{ЗТВН}$ В	$K_{РТВ}$	$T_{РТВ}$ В	$K_{ТПВ}$	$T_{ТПВ}$ с	$E_{ТПВМАКС}$ В	$R_{ЦВ}$ Ом	$T_{В1}$ с
10	9,636	2,47	71,5	0,005	319	31,746	2,47
$T_{В2}$ с	$K_{ДТВ}$	$K_{ОТВ}$	К				
0,037	1	1,538	81,493				
$I_{В,А}$	0	1,45	2	4,25	4,25	6,5	7,73
$\Phi_{ДВ,Вб}$	0	0,037	0,05125	0,07688	0,082	0,1025	0,1067

## 4.2 Настройка САУ электропривода на имитационной модели

Имитационное моделирование проводилось с использованием прикладной программы Matlab.

Для обеспечения работоспособности контура ЭДС с учетом пульсации выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя в цепи обратной связи по напряжению установлен сглаживающий фильтр с постоянной времени  $T_{\Phi H} = T_{ДВ} = 0,085 \text{ с}$ . Для оптимизации переходных процессов в электроприводе при отработке управляющих воздействий на входе электропривода установлен сглаживающий фильтр с постоянной времени  $T_{\Phi 2} = T_{\Phi H} = 0,085 \text{ с}$ . С целью увеличения диапазона регулирования скорости электропривода увеличен коэффициент усиления регулятора ЭДС. Для этого в цепь обратной связи по напряжению введена производная по напряжению двигателя. Реализуется это установкой интегродифференцирующего звена с передаточной функцией

$$W(p)_{\Phi H} = \frac{T_{H1} \cdot p + 1}{T_{H2} \cdot p + 1}.$$

Экспериментально подобраны следующие значения параметров:

$T_{H1} = 0,08 \text{ с}$ ,  $T_{H2} = 0,01 \text{ с}$ ,  $K_{РЭ} = 6 \div 8$ .

На входе электропривода установлен задатчик скорости ЗИС, обеспечивающий постоянный темп разгона и торможения при остановке электропривода. Постоянная времени ЗИС по технологии  $T_{ЗИС} \geq 4 \text{ с}$ .

## 4.3 Исследование САУ электропривода на имитационной модели

Цель исследований – проверка работоспособности электропривода во всех основных технологических режимах работы.

Исследования сводились к проверке работы САУ электропривода в следующих режимах:

- пуск привода при разных значениях управления и нагрузки;
- наброс нагрузки вплоть до режима стопорения;

- внезапного стопорения;
- торможение электропривода до меньшей скорости, до полной остановки.

Результаты исследований на имитационной модели приведены на рисунках 26÷33. При исследовании было принято  $T_{зис}=2с$ , практически принимается  $T_{зис}=4с$ , что будет способствовать ещё большему снижению динамических нагрузок в приводе ротора. Обработка переходных процессов показала, что САУ электропривода полностью отвечает предъявленным требованиям. Погрешность скорости при работе привода на номинальной скорости  $n_{ЭПН}=50,256$  рад/с (рисунок 29) не превышает

$$\frac{\Delta\omega_{уст}}{\omega_{зад}} \cdot 100 = \frac{3,7}{50,256} \cdot 100 = 7,36 \%$$

при изменении нагрузки до значения расчетной максимальной. При внезапном стопорении (рисунок 31) и пуске при застопоренном механизме (рисунок 32) электропривод четко становится на расчетный ток стопорения 700А.

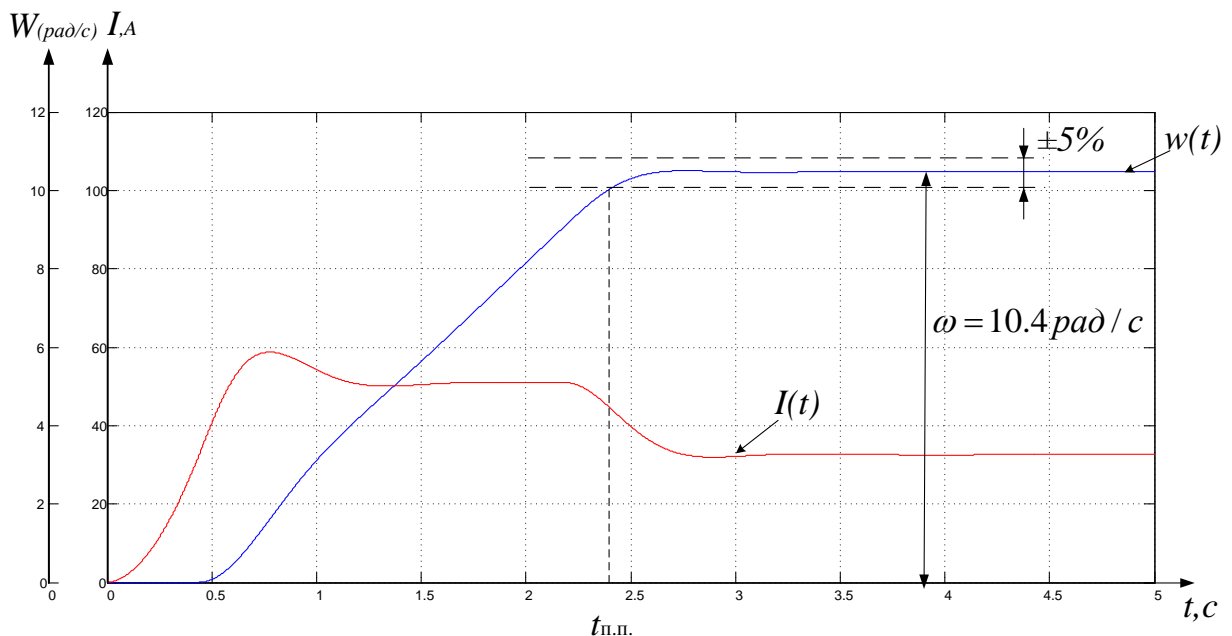


Рисунок26 - Пуск при  $U_{зс}=2В$  на холостом ходу,  $M_c=272 Н м$

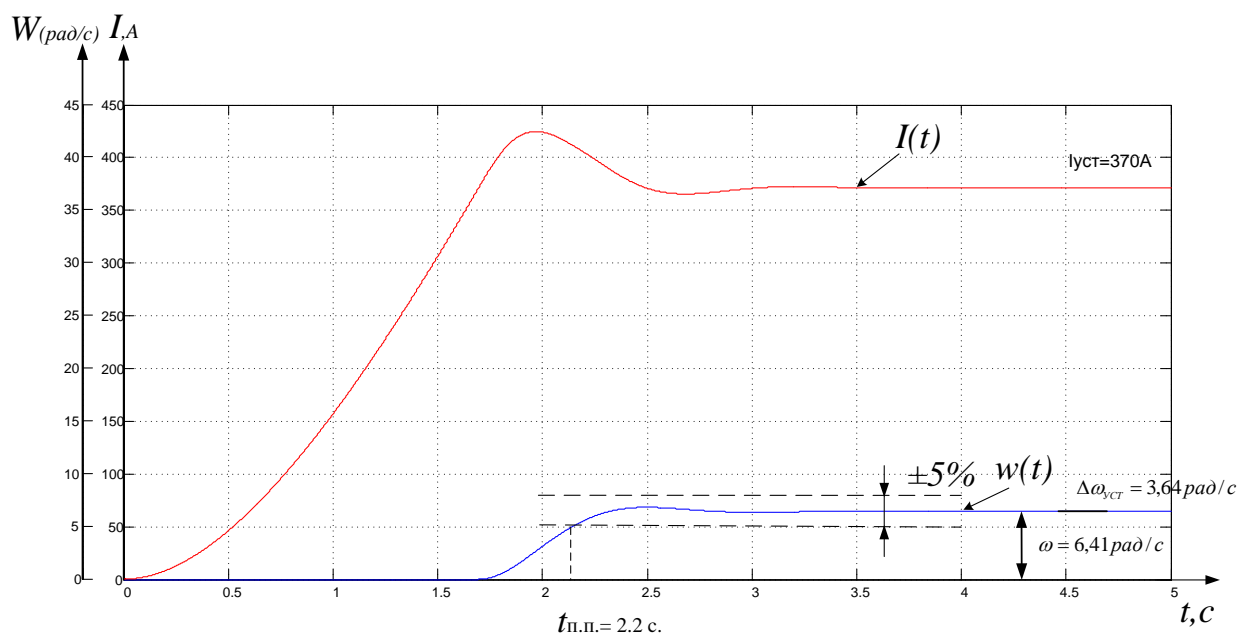


Рисунок 27 - Пуск при  $U_{zc}=2\text{В}$  и максимальной нагрузке  $M_c=3100 \text{ Н м}$ .

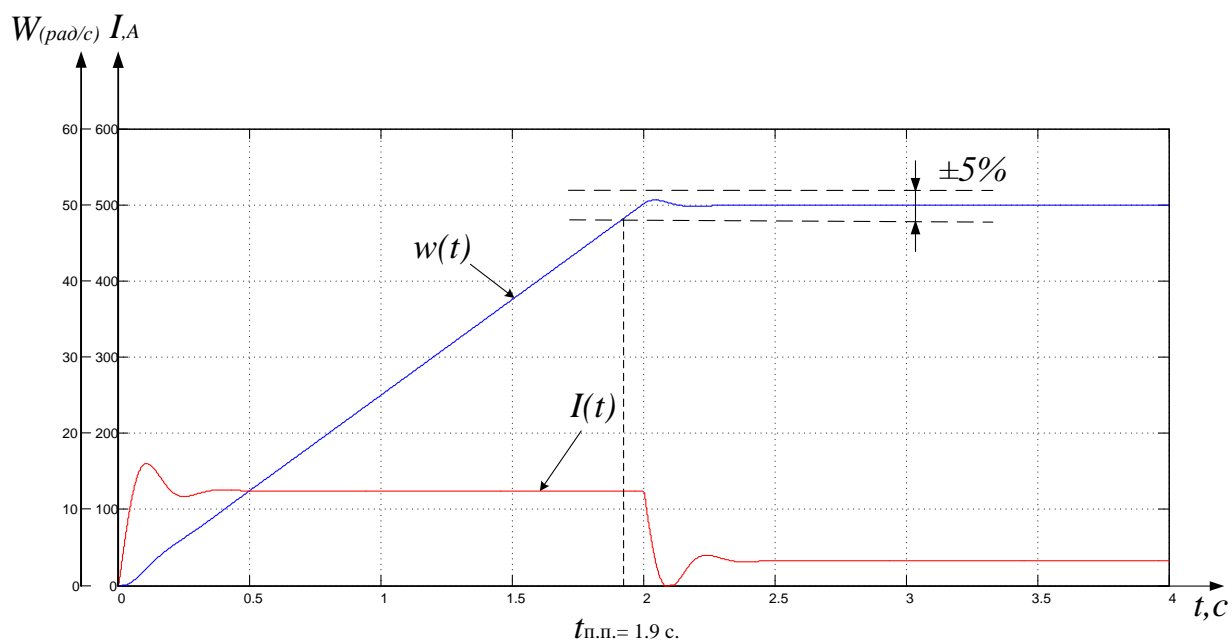


Рисунок 28 - Пуск на максимальную скорость на холостом ходу

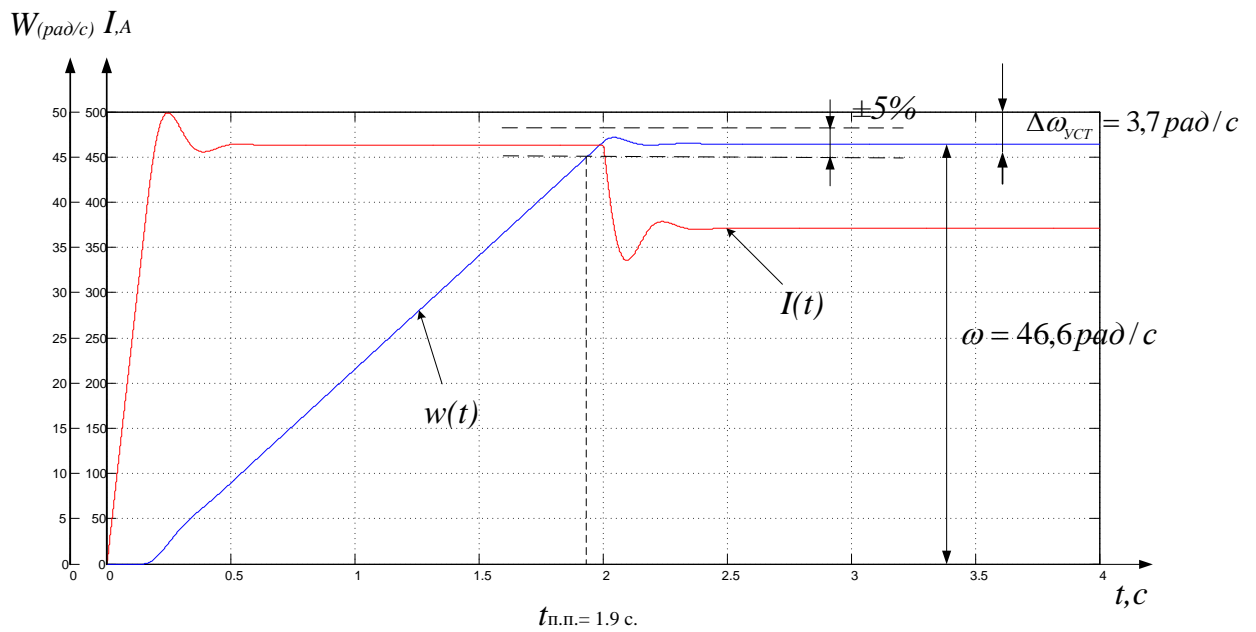


Рисунок 29 - Пуск на максимальную скорость при максимальной нагрузке  
 $M_c = 3100 \text{ Н м}$ .

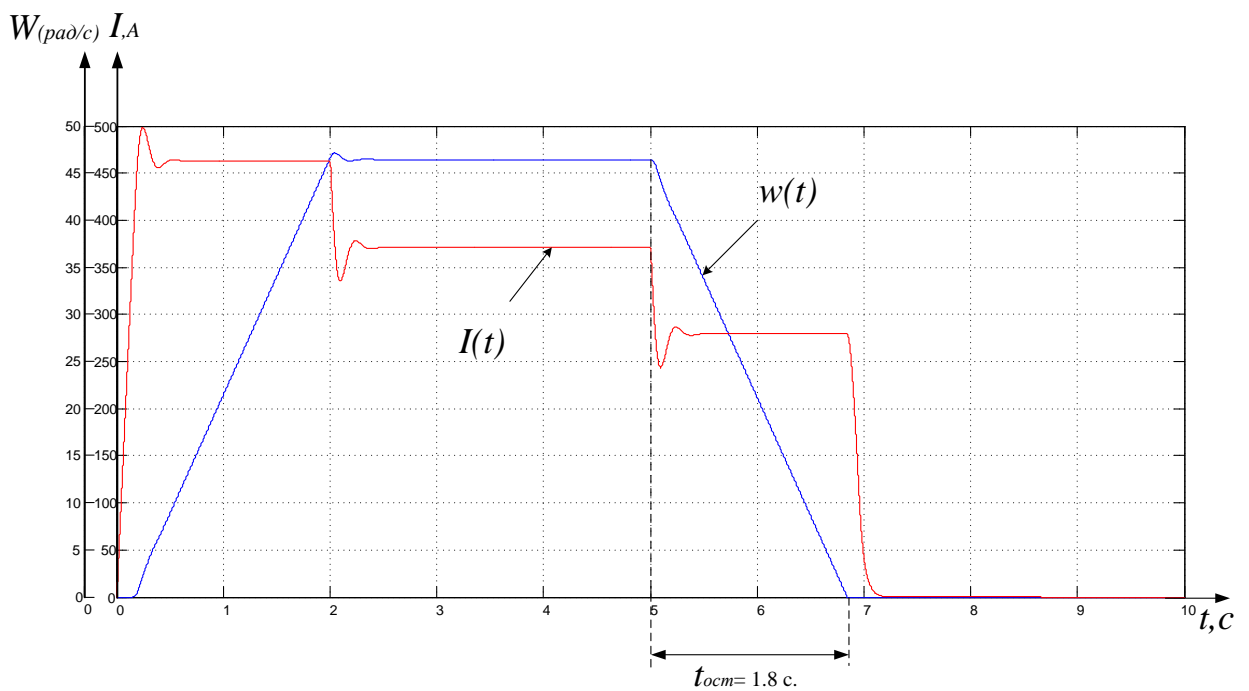


Рисунок 30 - Пуск на максимальную скорость и остановка при максимальной нагрузке

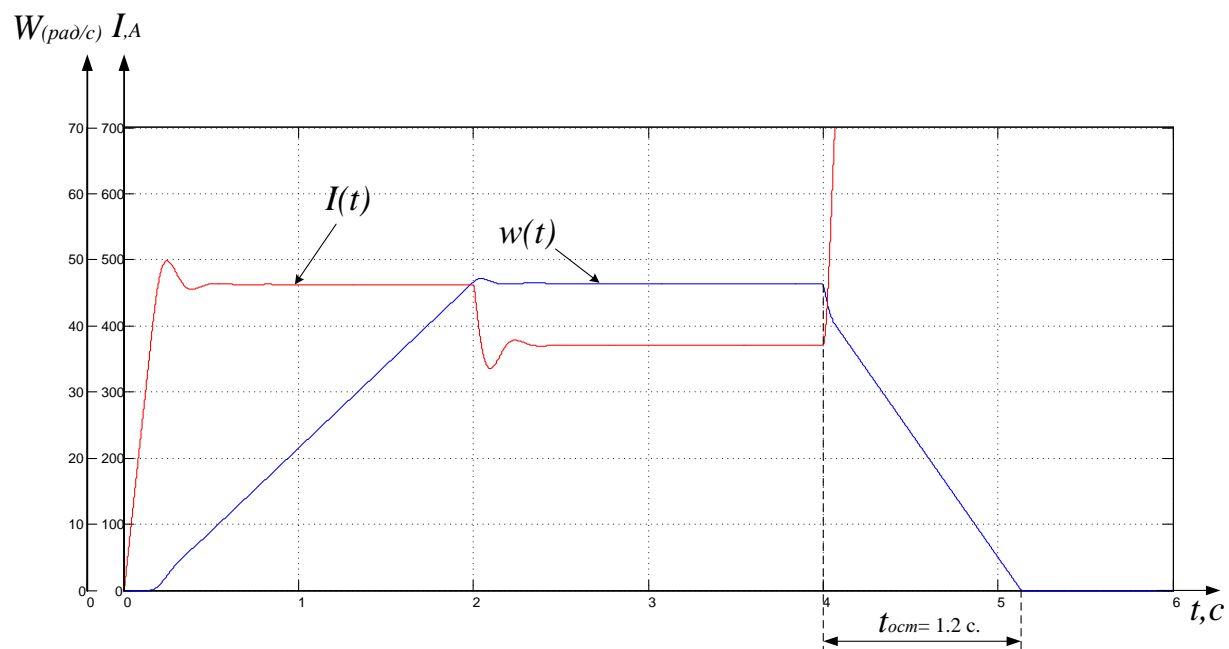


Рисунок 31 - Стопование при работе на максимальной скорости  $M_c = 7000$  Н м

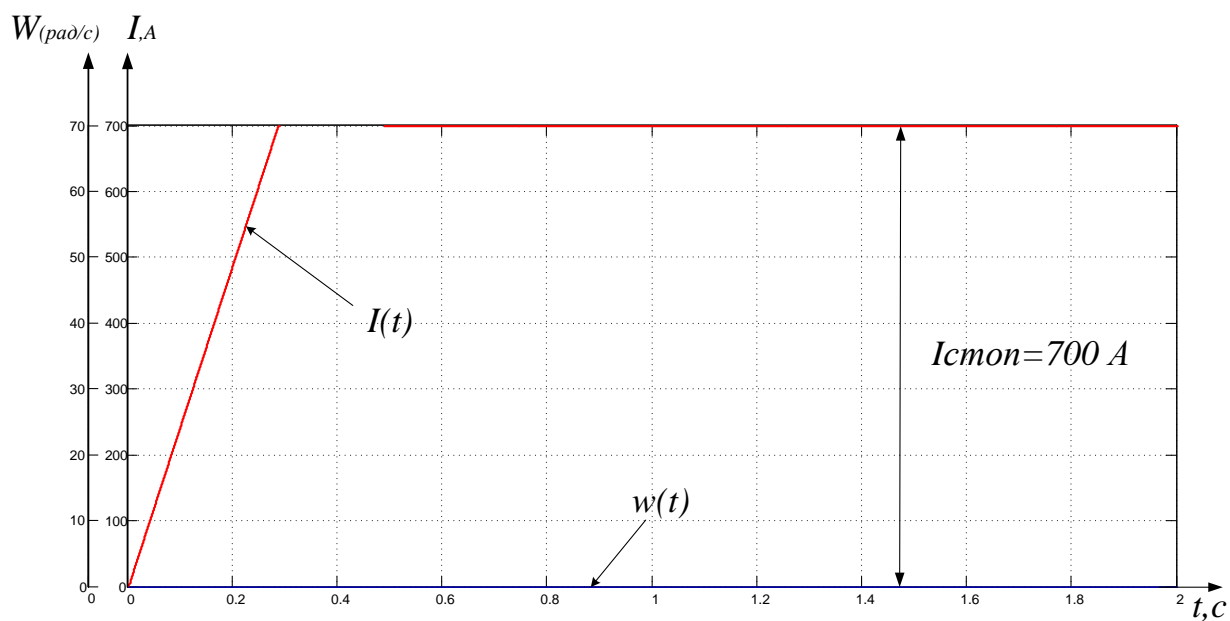


Рисунок 32- Пуск электропривода при застопоренном механизме



#### 4.4 Расчет статических характеристик электропривода

Структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости (ЭДС) приведена на рисунке 33.

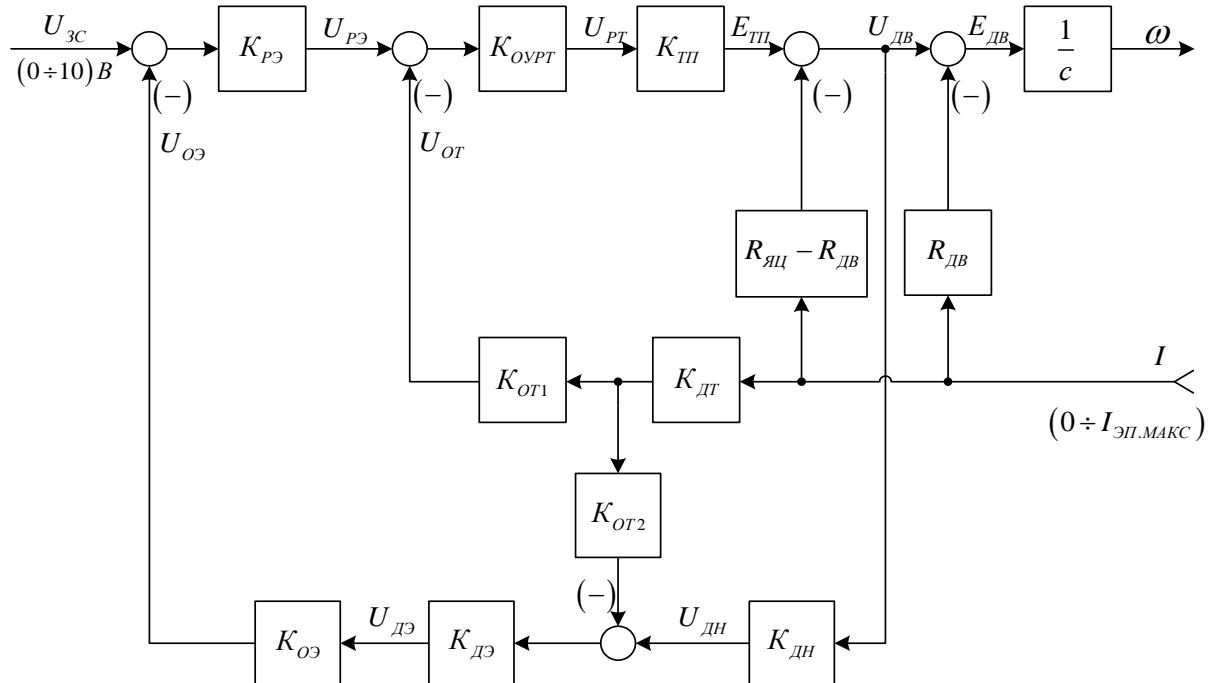


Рисунок 33 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости

Если настройка контуров выполнена в соответствии с изложенной ранее методикой, то схема рисунка 33 упрощается и принимает вид, приведённый на рисунке 34.

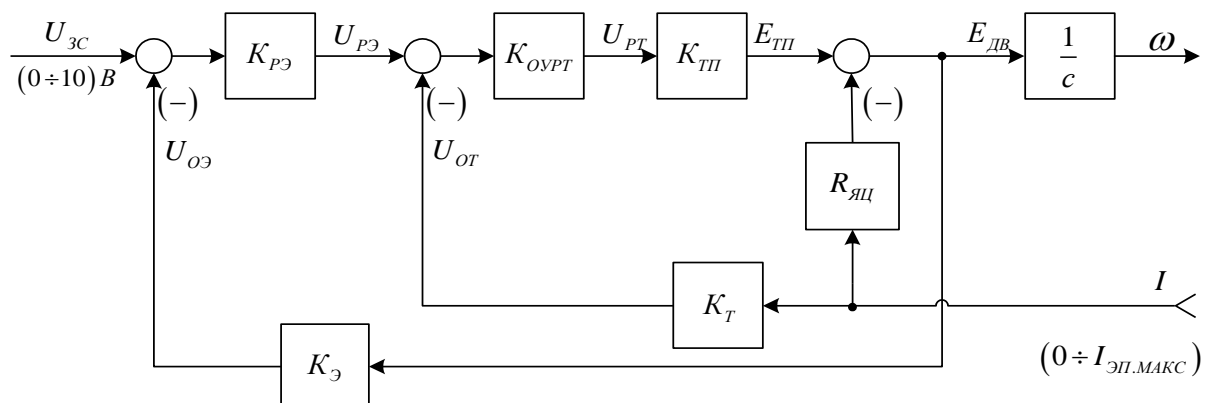


Рисунок 34 – Преобразованная структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости

Схема рисунка 34 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{PЭ} = K_{PЭ}(U_{3C} - U_{OЭ});$$

$$U_{OЭ} = K_{Э} \cdot E_{ДВ};$$

$$U_{PT} = K_{OУ.PT} \cdot (U_{PЭ} - K_T \cdot I);$$

$$E_{ТП} = K_{ТП} \cdot U_{PT};$$

$$E_{ДВ} = E_{ТП} - R_{ЯЦ} \cdot I;$$

$$\omega = \frac{E_{ДВ}}{k \cdot \Phi},$$

где  $k_{OУPT} = 1 \cdot 10^4$  – коэффициент усиления операционного усилителя, на котором реализован ПИ – РТ.

Решив систему уравнений, относительно  $\omega$  найдём уравнение для статической (электромеханической) характеристики привода  $\omega(I)$  в режиме стабилизации скорости

$$\omega(I) = \frac{K_{ТП} \cdot K_{OУ.PT} \cdot K_{PЭ}}{1 + K_{ТП} \cdot K_{OУ.PT} \cdot K_{PЭ} \cdot K_{Э}} \cdot \frac{U_{3C}}{k \cdot \Phi} - \frac{R_{ЯЦ} \cdot I}{k \cdot \Phi} \cdot \frac{1 + \frac{K_{ТП} \cdot K_{OУ.PT} \cdot K_T}{R_{ЯЦ}}}{1 + K_{ТП} \cdot K_{OУ.PT} \cdot K_{PЭ} \cdot K_{Э}}.$$

Подставив численные значения получим при  $\Phi_{ДВН}$

$$\begin{aligned} \omega(I) &= \frac{98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 6}{1 + 98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 6 \cdot 0,0238} \cdot \frac{U_{3C}}{8,353} - \frac{0,0921 \cdot I}{8,353} \cdot \frac{1 + \frac{98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 0,0143}{0,0921}}{1 + 98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 6 \cdot 0,0238} = \\ &= \omega_0(U_{3C}) - \Delta\omega(I) = 5,03U_{3C} - 0,01199I. \end{aligned}$$

Погрешность скорости электропривода при изменении нагрузки в % определяется по выражению

$$\Delta_H = \frac{\omega_0(U_{3C}) - \omega(I_{ДВ.Н})}{\omega_0(U_{3C}) + \omega(I_{ДВ.Н})} \cdot 100\% = \frac{\Delta\omega(I_{ДВ.Н})}{\omega_0(U_{3C}) + \omega(I_{ДВ.Н})} \cdot 100\%$$

Задаваясь рядом значений тока  $I$ , по полученным выражениям рассчитываем статические характеристики привода  $\omega(I)$  для нескольких значений  $U_{3C}$ . Расчёты сводим в таблицу 5.

Таблица 5

$U_{3C}, \text{В}$	$\omega, \text{рад}/\text{с}$			$\Delta n, \%$
	$I = 0 \text{ А}$	$I_{\text{ДВ.Н}} = 94 \text{ А}$	$I_{\text{ЭП.МАКС}} = 187 \text{ А}$	
10***	139,33	127,04	122,54	4,61
7,22**	100,6	91,73	83,81	4,61
3,61*	50,3	45,86	41,9	4,61
2*	27,87	23,43	19,47	8,65
1*	13,93	9,5	5,53	18,9

\*- $\Phi_{\text{ДВН}} = 0,1025 \text{ Вб}$ ; \*\*- $\Phi_{\text{ДВ}} = 0,05125 \text{ Вб}$ ; \*\*\*- $\Phi_{\text{ДВ МИН}} = 0,037 \text{ Вб}$ .

При увеличении нагрузки скорость двигателя уменьшается, и напряжение регулятора ЭДС увеличивается. Как только регулятор ЭДС входит в насыщение, отрицательная обратная связь по ЭДС отключается и переходит в режим стабилизации тока. Структурная схема электропривода для этого режима приведена на рисунке 35.

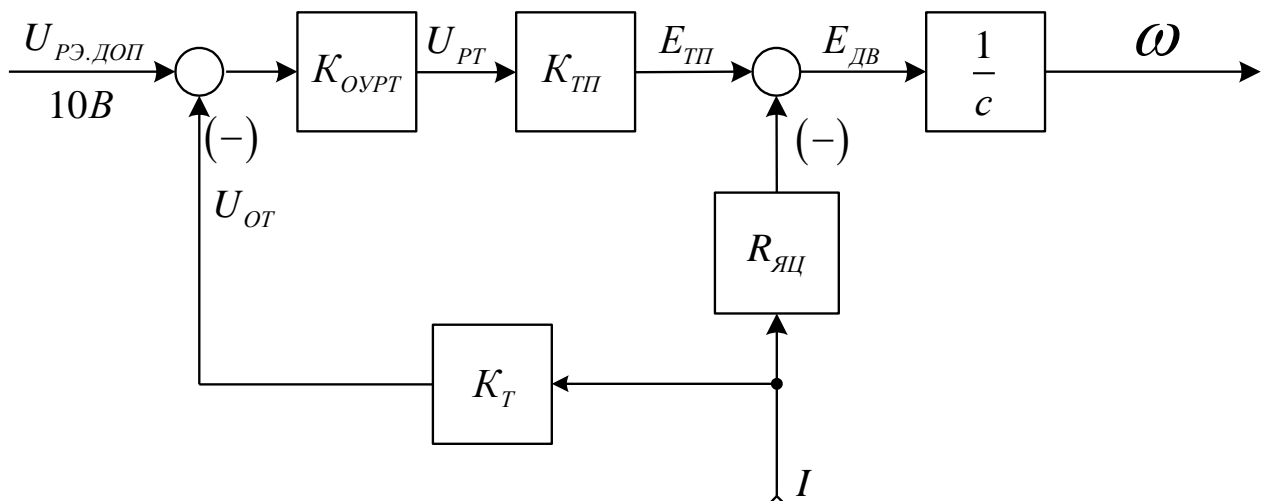


Рисунок 35 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации тока

Схема рисунка 35 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{PT} = (U_{PЭ.ДОП} - U_{OT}) \cdot K_{OY.PT};$$

$$U_{OT} = K_T \cdot I;$$

$$E_{ТП} = K_{ТП} \cdot U_{PT};$$

$$I = \frac{E_{ТП} - E_{ДВ}}{R_{ЯЦ}};$$

$$E_{ДВ} = C \cdot \omega.$$

Из совместного решения системы уравнений найдем выражение для статической характеристики электропривода в режиме стабилизации тока

$$I(\omega) = \frac{K_{OY.PT} \cdot K_{ТП}}{R_{ЯЦ} + K_{OY.PT} \cdot K_{ТП} \cdot K_T} \cdot U_{PЭ.ДОП} - \frac{C \cdot \omega}{R_{ЯЦ} + K_{ТП} \cdot K_{OY.PT} \cdot K_T}$$

После подстановки численных значений получим при  $\Phi_{двн}$

$$I(\omega) = \frac{1 \cdot 10^4 \cdot 98,4}{0,0921 + 1 \cdot 10^4 \cdot 98,4 \cdot 0,0143} \cdot U_{PЭ.ДОП} - \frac{8,353 \cdot \omega}{0,0921 + 1 \cdot 10^4 \cdot 98,4 \cdot 0,0143} =$$

$$= I(\omega = 0) - \Delta I(\omega) = 69,93 \cdot U_{PЭ.ДОП} - 0,000594 \omega.$$

Задаваясь рядом значений  $\omega$  рассчитываем статическую характеристику привода в режиме стабилизации тока  $I(\omega)$ . Результаты расчёта приведены в таблицу 6.

Таблица 6

$\omega, \text{рад}/\text{с}$	0	50,3	139,33
$I, \text{А}$	699,3	699,27	699,22

Электрохимические характеристики электропривода приведены на рисунке 36.

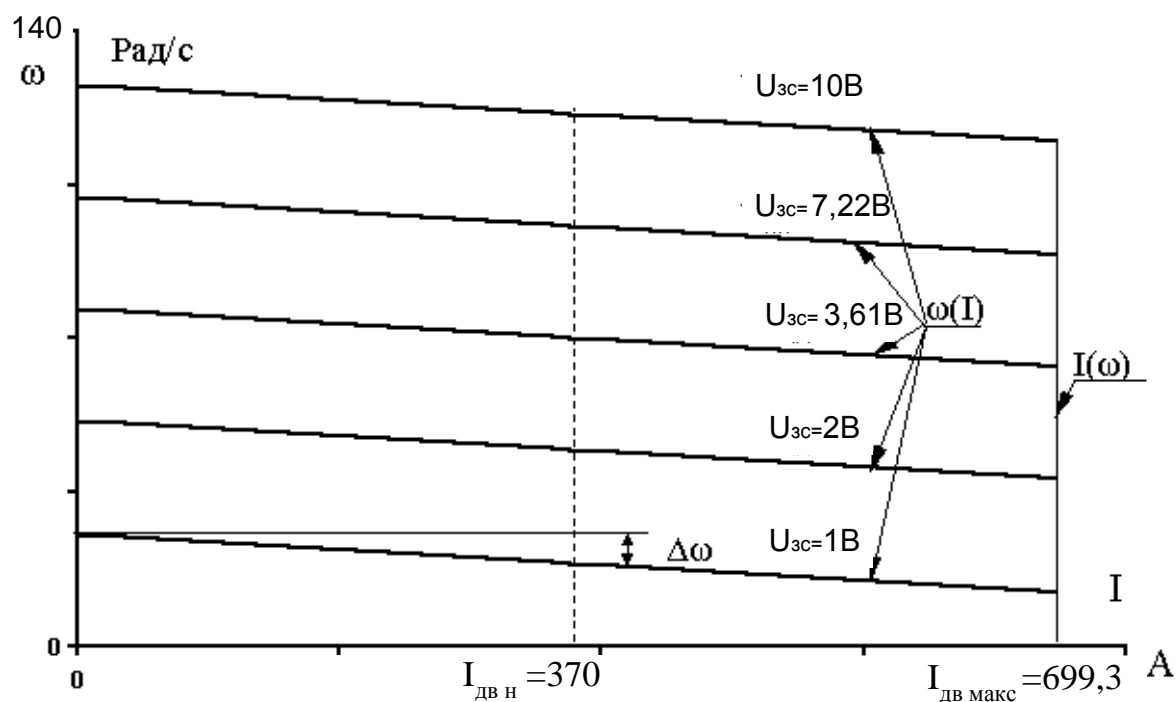


Рисунок 36 – Статические характеристики привода при  $K_{pэ} = 6$

Из полученных результатов следует, что в режиме стабилизации скорости электропривод имеет мягкие характеристики, а в режиме стабилизации тока электропривод точно удерживает заданный максимальный ток 1600А. Жесткость характеристик электропривода при необходимости может быть повышена путем увеличения коэффициента усиления регулятора ЭДС при настройке.

Условие выбора значения коэффициента усиления РЭ, при котором жесткость характеристик замкнутой системы будет выше, чем жесткость разомкнутой системы ТП-Д определяется выражением.

$$K_{pэ} > \frac{K_t}{K_{э} \cdot R_{яц}} = \frac{0,0143}{0,0238 \cdot 0,0921} = 6,53.$$

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А1	Степкин Алексей Романович

Институт	Институт электронного обучения (ИЭО)	Кафедра	Электропривод и электрооборудование
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Для разработки электропривода потребуются следующие ресурсы: материально-технические ресурсы; финансовые ресурсы для оплаты труда исполнителям проекта; энергетические ресурсы; человеческие ресурсы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	-Отчисления в социальные фонды -30%

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Инициализация проекта и его технико-экономическое обоснование, - Потенциальные потребители результатов НТП, - Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. Планирование и формирование бюджета проектной работы	- Планирование выполнения проекта, -Расчет бюджета затрат на проектирование, в том числе расчет капитальных вложений в основные средства
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования - Определение научно-технической эффективности

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Попова Светлана Николаевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А1	Степкин Алексей Романович		

## **5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

В предыдущих разделах дипломного проекта разработан главный электропривод буровой установки. Данная установка предназначена для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения нефтяных и газовых скважин глубиной до 2900м забойными двигателями и роторным способом.

Несмотря на значительные достижения в области бурового оборудования, существуют трудности в этой области, связанные со следующими факторами:

- Парк буровых установок укомплектован на половину морально устаревшим оборудованием;
- Существует тенденция удорожания бурового оборудования;
- Отечественной промышленностью не выпускаются серийно необходимые буровые установки, что нередко приводит к нецелесообразности использования установок более тяжелых классов и в результате повышается стоимость бурения;
- Большинство буровых установок выпускается в неполной комплектации, что в значительной мере приводит к снижению эффективности использования оборудования;
- Низкая монтажеспособность и транспортабельность установок снижает эффективность ее использования.

Вышеприведенные факты доказывают необходимость, как проектирования новых буровых установок, так и усовершенствования уже используемых.

Успех существования, финансовая стабильность и бизнес рост предприятия требует от последнего реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологии производства с целью повышения качества продукции (ее потребительских свойств), экономии затраченных средств, что существенно влияет на конечную стоимость продукции, появление новых видов продукции с новыми качествами - все это

требует от товаропроизводителя совершенствовать и внедрять новое технологическое оборудование, что целесообразно делать воспользовавшись услугами специализированных фирм, предоставляющих полный спектр по проектированию и наладке технологического оборудования.

### **Резюме**

Экономическое обоснование дипломного проекта разделено на две части:

1) Экономические расчеты по научно-техническому проектированию. Проектированием занимался один человек- автор проекта, с консультациями у специалистов по техническим, экономическим вопросам и вопросам, связанных с безопасностью жизнедеятельности. Целью этого раздела являлся расчет затрат, связанных с процессом проектирования, решение вопросов, связанных с ценообразованием проекта и расчета полученной прибыли.

Проект состоит из трех основных частей:

- основная часть (решаются технические вопросы);
  - экономическая часть (экономическое обоснование, как самого проекта, так и работ, связанных с монтажом и наладкой проектируемого электропривода;
  - безопасность и жизнедеятельность (решаются вопросы, связанные с безопасностью работ на всех стадиях: начиная от проектирования и кончая наладкой);
- 2) Экономический расчет монтажных и наладочных работ по данному электроприводу. Считаем, что этими работами занимается фирма, специализирующаяся в этой области и имеющая свой штат сотрудников. Целью этого раздела являлся расчет затрат, связанных с соответствующими работами, с определением цен на данные виды работ, определения размера получаемой прибыли.

### **5.1 Расчет номинального фонда времени на проектирование**

Так как специфика таких работ, как проектирование электропривода не



поддается строгому техническому нормированию, т.к. все определяется как уровнем сложности проектируемого электропривода, так и требуемым объемом работ. Поэтому, более удобно экономический расчет проекта проводить в зависимости от объема затраченного на проект времени. Следовательно, важным моментом является определение номинального фонда времени работы над проектом. Расчет производим на одного человека за срок, отведенный на проект: апрель (30 дней) и май (31 день).

Номинальный фонд рабочего времени:

$$T_H = T_K - T_{ПР} - T_{ВЫХ} = 61 - 3 - 8 = 50 \text{ дня},$$

Где:  $T_K = 61$  день - календарное время;

$T_{ПР} = 3$  дня - праздничные дни (майские праздники);

$T_{ВЫХ} = 8$  дней - выходные дни: считаем 6 рабочих дней в неделю.

Зарезервируем: не выход по болезни:  $t_{БОЛЕЗНИ} = 3$  дня.

Тогда, целодневные невыходы на работу, соотнесенные к номинальному

фонду рабочего времени:  $t_{нд} = \frac{t_{\text{болезни}}}{T_H} = \frac{3}{50} = 0,06 \text{ дня}.$

Явочное время:  $T_{яв} = T_H \cdot T_p \cdot (1 - t_{нд}) = 50 \cdot 8 \cdot (1 - 0,06) = 376 \text{ ч.},$

где  $T_{яв} = 8$  ч.- расчет производим на восьми часовой рабочий день.

Для расчетов необходим расчет фонд явочного времени в год. Расчет производим за год в 365 дней.

Номинальный фонд рабочего времени в год;

$$T_{н.г.} = T_{к.г.} - T_{п.г.} - T_{в.г.} = 365 - 9 - 52 = 304 \text{ дня},$$

где:  $T_K$  - 365 дней - календарное время в год;

$T_{ПР} = 9$  дней - праздничные дни;

$T_{ВЫХ.г.} = 52$  дня - выходные дни: считаем 6 рабочих дней в неделю.

Зарезервируем:

- отпуск:  $t_{ОТП} = 24$  дня;

- не выход по болезни:  $t_{БОЛЕЗНИ} = 12$  дней.

Тогда, целодневные невыходы на работу, соотнесенные к номинальному фонду рабочего времени:

$$t_{\text{нд}} = \frac{t_{\text{отпуск}} + t_{\text{болезни}}}{T_{\text{нг}}} = \frac{24 + 12}{304} = 0,118 \text{ дня.}$$

Явочное время в год:

$$T_{\text{явнг}} = T_{\text{нг}} \cdot T_{\text{см}} \cdot (1 - t_{\text{нд}}) = 304 \cdot 8 \cdot (1 - 0,118) = 2145,02$$

где  $T_{\text{см}}=8$  ч. - восьми часовой рабочий день.

## 5.2 Расчет затрат по научно-техническому проектированию

а) Произведем расчет амортизационных отчислений основных фондов за период проектирования:

$$A_{\text{пр}} = \frac{A_{\Sigma}}{T_{\text{яв}}} \cdot T_{\text{яв}} = \frac{20048}{2145,0} \cdot 376 = 3514,2 \text{ р.}$$

б) Затраты на расходные материалы

Под расходными материалами понимаем фонды отдела, связанные с процессом проектирования: затраты на канцелярские материалы, использование Internet, покупка технической литературы (книги, справочники), использование платных услуг библиотеки. Резервируем денежные средства на срок проектирования  $T_{\text{яв}}: Z_{\text{рм}}=0,85$  тыс. р.

в) Затраты на коммунальные услуги

Зафиксируем расход электроэнергии в месяц на уровне  $P_{\text{эн}}=20$  кВт•ч., тогда зная тариф за электроэнергию для промышленных предприятий по г. Томску:  $T_{\text{эн}}=2,28$ р. - за 1 кВт•ч., то затраты на электроэнергию в период проектирования  $T_{\text{яв}}=376$  ч.:

$$Z_{\text{эн}} = \frac{T_{\text{яв}} \cdot T_{\text{эн}} \cdot P_{\text{эн}}}{T_{\text{яв,г}}/12} = \frac{376 \cdot 2,28 \cdot 20}{2145,02/12} = 95,9$$

Тариф для промышленных предприятий по г. Томску за водо- и теплоснабжение:  $T_{\text{тепл}} = 50$  р. за 1 м<sup>2</sup> в месяц. Зная суммарную площадь помещений проектного отдела и администрации, можно легко определить связанные с этим затраты:

$$З_{эн} = \frac{T_{яв.} \cdot T_{тепл} \cdot S}{T_{яв.г}/12} = \frac{376 \cdot 50 \cdot 24.32}{2145.02/12} = 2557,8 \text{ р.}$$

Суммарные затраты на коммунальные услуги на период проектирования:

$$З_{ком.уд.} = З_{эн.} + З_{тепл} = 95,9 + 2557,8 = 2653,7 \text{ р.}$$

#### г) Расчет заработной платы проектировщика

Заработная плата может быть рассчитана по одной из двух основных форм:

- Сдельная форма оплаты труда: применяется там, где возможно пронормировать труд, имеются технические обоснованные нормы, есть учет количества продукции;
- Повременная форма оплаты труда: Оплата труда за единицу отработанного времени: час, смена. Применяется там, где невозможно учесть количество изготовленной продукции.

Используем повременную форму оплаты труда, т.к. проектирование электропривода очень сложно пронормировать, в виду разного уровня сложности проектов и требований, предъявляемых к ним. Для начисления заработной платы устанавливаем часовые тарифные ставки из расчета среднего размера зарплаты для соответствующей квалификации проектировщиков, работающих в организациях, которые профилируются в области проектирования электромеханических систем промышленного назначения в г. Томске:

Так как проектированием занимается инженер, то его часовая тарифная ставка приравнена к 2-й категории: ЧТС<sub>ПР</sub>=250 р./ч.

Для расчета времени, которое затратил проектировщик в процессе создания проекта, составляем таблицу 8.

Таблица 8 - Временные затраты на проект.

№	Содержание работы	Продолжи- тельность, ч.	События
1	2	3	4
1	Ознакомление с заявкой на проектирование	10	Составление технического задания
2	Выбор типа электропривода	12	Выбран тип электропривода
3	Анализ современных СУЭП*	10	Выбор СУЭП
4	Ознакомления с объектом управления	18	Уточнение технического задания
5	Разработка структурной схемы	10	Структурная схема электропривода
6	Разработка функциональной схемы	15	Функциональная схема электропривода
7	Составление мат. описания электропривода	30	Математическое описание электропривода
8	Синтез СУЭП	40	Расчет параметров элементов СУЭП
9	Создание имитационной модели	40	Имитационная модель на ЭВМ
10	Моделирование и обработка результатов	20	Показатели качества электропривода
11	Исследование элементных баз отечественных и зарубежных фирм	15	Выбор комплектующих для реализации СУЭП
12	Корректировка функциональной схемы и ее показателей	30	Улучшение показателей качества электропривода
13	Разработка принципиальной схемы	40	Принципиальная схема
34	Разработка монтажной схемы	30	Монтажная схема
15	Экономические расчеты электропривода	20	Экономическое обоснование проекта
16	Резерв времени	4	—
	Итог	344	—

В таблице приведены следующие технические обозначения.

СУЭП - система управления электропривода.

*Примечание к таблице 8:* В таблице не учитываются затраты времени на консультации и защиту проекта,

Расчет зарплаты проектировщика за данный проект:

$$ЗП_{пр} = ЧТС_{пр} \cdot T_{яв} = 250 \cdot 376 = 94000 \text{ р.}$$

Расчет суммарных затрат на зарплату с учетом районного коэффициента: Районный коэффициент для томской области:  $K_p=1,3$

$$ЗП_{пр.}^p = K_p \cdot ЗП_{пр.} = 1,3 \cdot 94000 = 122200 \text{ р.}$$

Расчет затрат на зарплату с учетом налогообложения: отчисления в общественные фонды:  $H_{соц}=30,2\%$

налог на страхование:  $H_{СТРАХ} = 0,2\%$

$$ЗП_{\Sigma}^H = H_{соц} \cdot H_{страх} \cdot ЗП_{пр.}^p = 1,3 \cdot 1,002 \cdot 122200 = 159177,72 \text{ р.}$$

Полученные затраты на проектирование электропривода сведем в таблицу 9 согласно пунктам а): б); в); г); д).

Таблица 9 - Калькуляция проектных работ.

Наименование затрат	Обозн-я	Время, час	Стоимость, руб/час	Сумма
Отчисления на амортизацию	$A_{пр.}$	376	7,33	2756,1
Расходные материалы	$З_{р.м.}$	376	2,26	850
Консультации – район. коэф.+соц.налог+н. на страх	$ЗП_{к./э.}^H$	37,5	95,73 73,36	3590 2751
Коммунальные услуги	$З_{КОМ,УД.}$	376	7,09	2666,7
Зарплата – район. Ко-эф.+соц.налог+н. на страх	$ЗП_{\Sigma}^H$	376	2519,15	159177,72
Суммарные затраты	$З_{ПРОЕКТ.}$		229,92	171791,62

### 5.3 Расчет затрат на монтажные и пусконаладочные работы

ПНР:

1. подготовительные работы;
2. сборка электропривода;
3. наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний оборудования;
4. наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования;
5. пробный пуск электропривода;
6. оформление отчетной документации.

а) Расчет амортизационных отчислений основных фондов

К основным фондам относятся средства труда, которые многократно используются в процессе производства, не изменяя свою натурально-вещественную форму. К ним относятся средства труда стоимостью более 10000 р. и сроком службы более одного года.

Амортизация- это возмещение стоимости основных фондов в течении их эксплуатации. Отчисления производятся за счет себестоимости в амортизационный фонд. Выберем линейный способ амортизации.

Данные сведем в таблицу 10.

Таблица 10 - Амортизационные отчисления на ПНР.

№	Основные фонды	Стоимость, тыс. р.	Норма амортизации, % годовых	Аморт. начисления, тыс.р.	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	помещения	288	5	14,4	2 кабинета суммарной площадью 36 м <sup>2</sup> , 8000 р за 1 м <sup>2</sup> .
2	компьютер	20	12	2,4	
3	принтер	5	12	0,6	
4	испытательные стенды	17	12	2,04	2 испыт. стенда: 1-5 тыс. р. 2-12 тыс. р.
5	кондиционер	12	12	1,44	

Из таблицы 10 (колонка 5) видно, что суммарные амортизационные отчисления для отдела монтажа и наладки составляет  $A_{\Sigma}^{ПНР} = 20,88$  тыс. р.

Произведем расчет амортизационных отчислений на единицу рабочего времени,

$$A_{уд}^{ПНР} = \frac{A_{\Sigma}}{T_{яв.г.}} = \frac{20880}{2145,02} = 9,7 \text{ р./ч.}$$

б) Затраты на расходные материалы

Под расходными материалами понимаем фонды отдела, стоимостью менее 10000 или сроком службы менее 1-го года, а так же затраты, связанные с процессом работы: затраты на канцелярские материалы, инструмент, запасные части, покупка новых картриджей для принтера, закупка технической литературы (технические книги, справочники, каталоги).

Произведем резервирование денежных средств на год,  $З_{р.м.}^{ПНР} = 9,7$  тыс. р.

Рассчитаем удельные затраты на расходные материалы на единицу ра-

$$\text{бочего времени} \quad З_{уд.р.м.}^{ПНР} = \frac{З_{р.м.}^{ПНР}}{T_{яв.г.}} = 4,8 \text{ р./ч.}$$

а) зарплата бухгалтера приравнена к зарплате отдела кадров:

$$ЗП_{бухг.} = ЗП_{от.к} = 20 \text{ тыс.р.}$$

б) зарплата руководителя фирмы:  $ЗП_{рук} = 80 \text{ тыс.р.}$

$$A_{ад} = 0,05 \cdot 240 = 12 \text{ тыс.р.}$$

- Амортизация компьютеров, используемых администрацией: Используется три компьютера по 20 тыс.р. за каждый, тогда их суммарная стоимость  $С_{комп} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ тыс.р.}$  Произведем амортизационные отчисления на вычислительную технику линейным способом по 12% годовых:

$$A_{комп.} = 0,12 \cdot 60 = 7,2 \text{ т.р.}$$

- Амортизация принтеров, используемых администрацией: Используется два принтера по 4 тыс.р. за каждый, тогда их суммарная стоимость

$$С_{принт} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ тыс.р.}$$

Произведем амортизационные отчисления на вычислительную технику линейным способом по 12% годовых:  $A_{принт.} = 0,12 \cdot 8 = 0,96 \text{ тыс.р.}$

- Амортизация вентиляционных систем, установленных в административных помещениях: Используется система за 2,5 тыс.р. Произведем амортизационные отчисления на вентиляционные системы линейным способом по 12% годовых:

$$A_{вент.} = 0,12 \cdot 2,5 = 0,3 \text{ тыс.р.}$$

- У администрации существуют свои административные расходы, которые она несет в процессе своей деятельности, они подобны тем, которые описаны выше для проектного отдела. Размер этих расходов определяется из опыта прошлых лет и фиксируется в год на уровне:  $P_{ад.} = 8 \text{ тыс.р.}$

Тогда суммарные административные затраты на один час рабочего времени определяются:

$$\begin{aligned} Z_{ад.час.} &= \frac{12(ЗП_{бухг.} + ЗП_{от.к.} + ЗП_{рук.}) + A_{ад.} + A_{комп.} + A_{принт.} + A_{вент.} + P_{ад.}}{T_{яв.г.}} = \\ &= \frac{12 \cdot (20 + 20 + 80) + 12 + 7,2 + 0,96 + 0,3 + 8}{2145,02} = 684,6 \text{ р.ч.} \end{aligned}$$



Согласно рисунку 34 в состав фирмы входит 4 производственных отдела, тогда удельные административные затраты определяются на каждый производственный отдел:

$$z_{\text{ад.уд.}} = \frac{z_{\text{ад.час}}}{4} = \frac{684,6}{4} = 171,15 \text{ р.ч.}$$

#### **5.4 Выбор состава и численности бригады для проведения ПНР**

Бригада наладчиков является специализированной бригадой и характеризуется профессиональным составом, работы проводятся в первую смену. На выполнение всех ПНР отведено 100 часов; в том случае, если бригада не укладывается в отведенные на ПНР часы, то работы проводятся во внеурочное время с оплатой труда такой же, как и в рабочее время. Проведение этих работ объясняется утвержденными сроками начала бурения скважины. Техника безопасности запрещает производить работы на оборудовании находящемся под напряжением менее двум рабочим. Состав и численность бригады определяется исходя из квалификации работников, а также сроков выполнения ПНР.

В данном случае бригада состоит из четырех человек:

1. руководитель - инженер первой категории, пятой группы допуска;
2. электронщик шестого разряда, пятой группы допуска;
3. электромонтер шестого разряда, четвертой группы допуска;
4. электромонтер пятого разряда, четвертой группы допуска.

#### **5.5 Планирование пусконаладочных работ**

Обеспечение высокой надежности и высококачественной работы буровой установки зависят от качества проведения ПНР. Важными показателями ПНР является продолжительность работы, для ее сокращения работы проводятся по самому оптимальному графику.

Полный комплекс пусконаладочных работ и последовательность их исполнения представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Этапы выполнения ПНР.

№	Наименование работ	Исполни- тели	Часы
1	- организация и подготовка работ	1,2,3,4	8
2	- изучение электрической части проекта и ознакомление с технической документацией	1,2,4	4
3	- подготовка парка приборов и приспособлений, программ наладки и комплекта форм протокола	1,2,3,4	8
4	- наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний оборудования	1,2,3,4	40
5	- наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	1,2,3,4	24
6	- пробный пуск электропривода	1,2,3,4	8
7	- составление протокола ПНР и испытаний	1,2,3,4	4
8	- внесение в принципиальные схемы изменений, выполненных в процессе ПНР	1,3	4

По таблице 11 строим график выполнения ПНР, который приведен на рисунке 1.

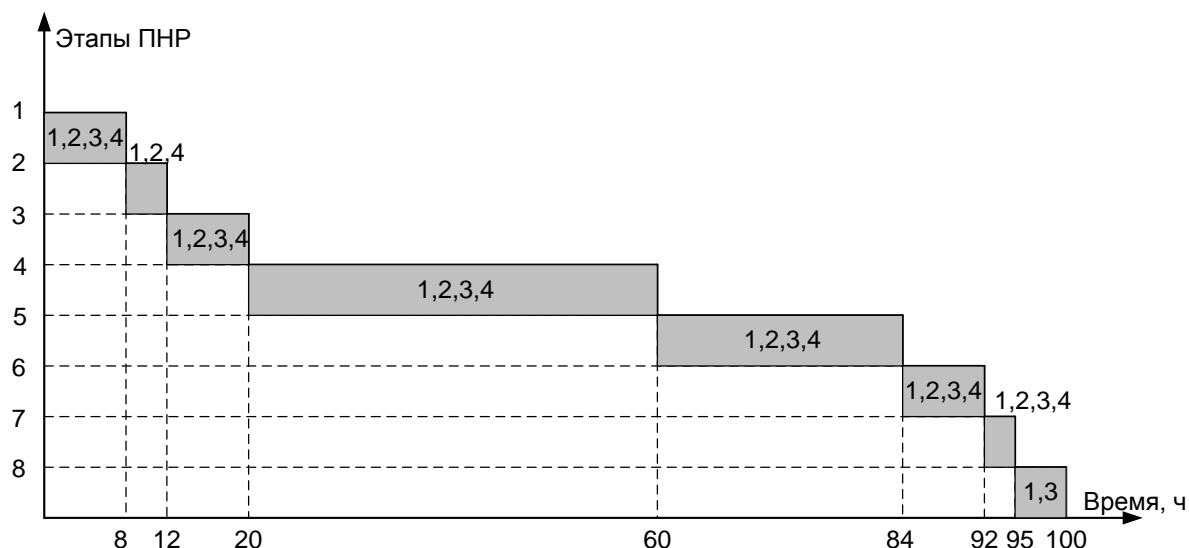


Рисунок 37 – График проведения ПНР

## 5.6 Определение стоимости пусконаладочных работ

Стоимость пусконаладочных работ по электроприводу буровой установки исчисляется суммированием затрат по следующему оборудованию и видам работ:

- преобразовательным трансформаторам и реакторам;
- коммутационным аппаратам;
- устройствам релейной защиты;
- электрическим машинам;
- статическим преобразователям;
- схемам управления электроприводом, а также систем автоматического управления и регулирования ими.

Тарифы на пусконаладочные работы содержат только основную заработную плату пусконаладочного персонала, рассчитанную на основе тарифных ставок и среднемесячных должностных окладов, установленных для работников. Базисную стоимость пусконаладочных работ определяем на основании ценника на проведение ПНР. Важнейший принцип определения заработной платы при бригадном методе работы - оценка реального трудового вклада

каждого члена бригады в получение конечного результата.

При проведении пусконаладочных работ в условиях, снижающих производительность труда к цене, следует применять следующие коэффициенты:

- наличие в зоне работ действующего оборудования, коэффициент 1,1;
- выполнение ПНР в электротехнических установках, находящихся под напряжением, коэффициент 1,3;
- надбавка к ценам ПНР, районный коэффициент 1,3;
- реальная стоимость ПНР определяется с учетом индексации цен 5.

Базисные расценки на наладку электрооборудования при проведении пусконаладочных работ приведены в таблице 12.

Таблица 12 - Расценки на наладку электрооборудования при ПНР.

Наименование работ	Ед. изм.	Кол, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Технологический комплекс	компл.	1	630	630
Блок питания	шт.	2	710	1420
Машина постоянного тока	шт.	2	218	436
Преобразователь тиристорный	шт.	2	167	334
Датчики	шт.	6	110	660
Контур системы автоматического регулирования тока	контур	2	1190	2380
Контур системы автоматического регулирования скорости	контур	2	1190	2380
Схема сигнализации	схема	2	560	1120
Снятие на осциллограф	—	50	104	5200
Работы, не учтенные ценником				5000
ИТОГО, С <sub>сум</sub>				22570

В соответствии с ценником на проведение ПНР и таблицей 6 стоимость пусконаладочных работ электропривода буровой установки определяется следующим образом:

- ♦ стоимость с учетом районного коэффициента

$$C_{\text{сум1}} = 1,3 \cdot C_{\text{сум}} = 1,3 \cdot 22570 = 29341 \text{ руб.}$$

- ♦ стоимость с учетом наличия в зоне выполнения ПНР действующего технологического оборудования

$$C_{\text{сум}2} = 1,1 \cdot C_{\text{сум}1} = 1,1 \cdot 29341 = 32275,1 \text{руб.}$$

♦ стоимость с учетом наличия в зоне выполнения ПНР в электротехнических устройствах, находящихся под напряжением

$$C_{\text{сум}3} = 1,35 \cdot C_{\text{сум}2} = 1,3 \cdot 32275,1 = 41957,63 \text{руб.}$$

В сметную стоимость ПНР входят:

1. заработная плата пусконаладочной бригады;
2. дополнительная заработная плата, составляющая 10 ÷ 15 процентов от основной заработной платы;
3. затраты на комплектующие материалы составляет от основной 5 процентов;
4. отчисления на социальные нужды (пенсионный фонд, фонд медицинского страхования, фонд социального страхования, фонд занятости, фонд содействия развития науки и т.д.) составляют 30 процентов;
5. накладные расходы составляют 40 процентов;
6. рентабельность составляет 10 ÷ 15 процентов от всех отчислений;
7. общая стоимость пусконаладочных работ;
8. общая стоимость пусконаладочных работ с учетом НДС составляет 18 процентов от общей стоимости ПНР.

Рассчитанная сметная стоимость пусконаладочных работ приведена в таблице 13.

Таблица 13 - Стоимость ПНР.

Статья	Сумма, руб.	Примечание
1 . Заработная плата	209788,15	Спнр
2. Дополнительная заработная плата	20978,81	10% от ст. 1
3. Стоимость оборудования	10489,4	5% от ст. 1
4. Отчисления на социальные нужды	62936,44	30% от ст. 1
5. Накладные расходы	83915,26	40% от ст. 1
6. Стоимость ПНР	428093,68	$\sum$ ст.(1÷6)
7. Стоимость ПНР с учетом НДС	505150,54	НДС = 18%

### 5.7 Ценообразование

1) на проектирование  $Проект. = 36000р.$ ;

2) на монтаж и наладку  $Пм/н = 31248р.$

Суммарная прибыль фирмы, занимающаяся монтажом и пусконаладочными работами составит -  $Ппнр_{\Sigma} = 31248 + 39985,62 = 71233,62$  р.

Тогда, цена на проектирование электропривода составит  
 $Ц_{проект.} = З_{проект.} + П_{проект.} = 171791,62 + 36000 = 207791,62$  р.

Цена на закупку сборку, монтаж и наладку электропривода составит:  
 $Ц_{м/н} = З_{м/н.} + П_{пнр_{\Sigma}} = 1231963,68 + 71233,62 = 1303197,3$  р.

Цена электропривода с учетом проекта, его стоимостью и всеми надлежащими работами:  $Ц_{эп.} = Ц_{проект.} + Ц_{м/н} = 207791,62 + 1303197,3 = 1510988,92$  р.

Все экономические расчеты были проведены без налога на добавочную стоимость (НДС). Произведем расчет продажных цен с учетом НДС=18%:

На проект:  $Ц_{проект.прд.} = Ц_{проект.} \cdot НДС = 207791,62 \cdot 1,18 = 245194,11$  р.

На закупку сборку, монтаж и наладку электропривода:

$Ц_{м/н прд.} = Ц_{м/н} \cdot НДС = 1303197,3 \cdot 1,18 = 1537772,81$  р.

Продажная цена электропривода с учетом проекта, его стоимостью и всеми надлежащими работами:

$Ц_{эп. прд.} = Ц_{проект. прд.} + Ц_{м/н} = 245194,11 + 1537772,81 = 1782966,92$  р.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5г3а1	Степкин Алесей Романович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является регулируемый электропривод ротора буровой установки. Используется для управления вращением роторного стола в процессе бурения и эксплуатации скважин.</i>
--	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.  1.2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.	<i>Вредными факторами являются:</i> 1. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе 2. Превышение уровней шума 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны (в ночное время суток)  <i>Опасными факторами являются:</i> 1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	- Анализ воздействия объекта на литосферу(отходы);
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	-Возможные ЧС -Пожар.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	-Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. -Организация и охрана труда.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5г3а1	Степкин Алексей Романович		

## **6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Исследуемый в проекте электропривод ротора, буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ, на базе нереверсивного тиристорного преобразователя, предназначен для управления вращением роторного стола в процессе бурения и эксплуатации скважин. В буровой установке используются электроустановки как низкого напряжения (до 1000 В) так и высокого (выше 1000 В).

Работы по обслуживанию и ремонту электропривода, проводимые оперативно-ремонтным и ремонтным персоналом, ведутся на технологическом оборудовании и вблизи него. Работы по обслуживанию и ремонту устройства управления, имеющего щитовое исполнение и находящегося в помещении операторной, ведутся при искусственном освещении.

Для оперативного проведения ремонта вышедшего из строя оборудования, в условиях непрерывного производства, обслуживающему персоналу необходимо иметь четкие знания и соблюдать правила безопасности .

### **6.1 Производственная безопасность**

Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.

Вредные производственные факторы - факторы, воздействие которых на работающих в определенных условиях людей может привести к заболеванию, снижению работоспособности и отрицательному влиянию на потомство.

#### *1. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе*

Метеоусловия - это состояние воздушной среды, определяемое совокупностью ее параметров: температуры, влажности, скорости движения воздуха, а также атмосферного давления, теплового излучения.

Влияние метеоусловий на организм человека достаточно сложно и многообразно. При благоприятном сочетании метеопараметров сохраняется нормальное функциональное состояние организма, и создаются предпосылки для плодотворного труда. Неблагоприятные условия снижают работоспособность, могут вызвать изменение частоты пульса, дыхания, артериального давления, напряжение нервной системы, перегрев организма и т.д.



Обслуживающий персонал буровых установок работает на открытом воздухе, нередко при неблагоприятных метеорологических условиях. Зима продолжительная, снежная, суровая. Средняя температура в зимний период составляет -20 - 25 °С, иногда до -40 - 50°С. Зимний период продолжается в среднем 180-185 дней (с ноября по апрель). Толщина снежного покрова достигает 0,48 - 0,6 м, промерзаемость грунта 1,0-1,2 м. Самыми холодными месяцами считаются декабрь, январь, февраль.

Указанные обстоятельства значительно осложняют осуществление обслуживания скважин, создают дополнительные трудности в обеспечении безопасности этого процесса. В ТК РФ статья 109 сказано, что: На отдельных видах работ предусматривается предоставление работникам в течение рабочего времени специальных перерывов, обусловленных технологией и организацией производства и труда. Виды этих работ, продолжительность и порядок предоставления таких перерывов устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка.

(в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ)

Работникам, работающим в холодное время года на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях, а также грузчикам, занятым на погрузочно-разгрузочных работах, и другим работникам в необходимых случаях предоставляются специальные перерывы для обогрева и отдыха, которые включаются в рабочее время. Работодатель обязан обеспечить оборудование помещений для обогрева и отдыха работников

В качестве средств индивидуальной защиты при работе на открытом воздухе в сильные морозы применяется: теплая спецодежда, утепленные прорезиненные рукавицы, валенки на резиновом ходу, шапка - ушанка. В пасмурную дождливую погоду используются резиновые плащи и сапоги, а также резиновые верхонки.

## *2. Превышение уровня шума*

Основными источниками шума при работе являются: дизельный генератор, обеспечивающий работу механизмов буровой установки и двигатель подъемника, обеспечивающий работу лебедки.

Шумом является всякий неприятный для восприятия звук. Как физическое явление представляет собой совокупность звуков, слышимых в диапазоне от 16 до 20 тысяч Гц. Шум является не только причиной несчастных случаев, но и заболеваний. Шум снижает слуховую чувствительность, нарушает ритм дыхания, деятельность сердца и нервной системы.

Шум нормируется согласно ГОСТу 12.1.003-83 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96. В указанных нормативных документах предусмотрены два метода нормирования шума: по предельному спектру шума и по интегральному показателю - эквивалентному уровню шума в дБА.

Выбор метода нормирования в первую очередь зависит от временных характеристик шума. По этим характеристикам все шумы подразделяются на постоянные, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется не более чем на 5 дБА, и непостоянные, аналогичная характеристика которых изменяется за рабочий день более чем на 5 дБА. Нормирование по предельному спектру шума является основным для постоянных шумов.

Второй метод нормирования - по эквивалентному уровню шума - основан на измерении шума по шкале А шумомера. Эта шкала имитирует чувствительность человеческого уха. Уровень шума, измеренный по шкале А шумомера, обозначается в дБА. Постоянные шумы характеризуются по предельному спектру шума, а непостоянные только в дБА.

Основные мероприятия по борьбе с шумом:

виброизоляция оборудования с использованием пружинных, резиновых и полимерных материалов;

экранирование шума преградами;

звукоизоляция кожухами;

использование звукопоглощающих материалов;

использование средств индивидуальной защиты (наушники, беруши, шлем и т. п.).

### *3. Недостаточная освещенность рабочей зоны*

При проведении работ в ночное время суток рабочая зона (роторной площадки) во избежание травматизма и аварийных ситуаций, должна искусственно освещаться. Необходимые нормы освещенности рабочей зоны нормируются СНиП 23-05-95 в зависимости от разряда зрительной работы, контраста объекта с фоном и характеристикой фона. Рабочее освещение должно создавать равномерную освещенность и яркость рабочей поверхности, исключать возможность образования резких теней, обеспечивать правильную цветопередачу, быть экономным, надежным и удобным в эксплуатации.

## **6.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды**

*1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.*

Опасность поражения током при проведении полевых работ заключается в возможности поражения от токоведущих элементов двигателя ротора из-за несоблюдения правил эксплуатации приборов, нарушения правил и инструкций, по техническим причинам таким, как ухудшение электроизоляции, дефектов монтажа; поэтому требования безопасности сводятся, в основном, к мерам электробезопасности.

Воздействие тока на человека:

- термическое
- электромагнитное
- биологическое

Исход поражения электрическим током:

- электрическая травма (ожог, металлизация кожи, разрыв кожных тканей);

- электрический удар (протекание тока по жизненно важным органам, наступление паралича, внешних повреждений практически нет).

Факторы, от которых зависит исход поражения электрическим током:

- электрическое сопротивление на человека;
- ток, протекающий через человека;
- путь протекания тока;
- условия внешней среды;
- подготовленность персонала.

При работе с электрическим током нужно соблюдать электробезопасность (ГОСТ 12.1.030-81 , ГОСТ 12.1.019-79 , ГОСТ 12.1.038-82 ).

При проведении работ электрическими методами буровая установка должна быть надежно заземлена во избежание поражения персонала электрическим током. Соединительные провода, применяющиеся для сборки электрических схем, не должны иметь обнаженных жил, неисправную изоляцию, концы их должны быть снабжены изолирующими вилками, муфтами или колodками. Сборку и разборку электрических схем, ремонт проводов, а также проверку исправности цепей следует выполнять при выключенном источнике тока. Подобные работы должны производить не менее двух исполнителей, имеющих соответственный допуск по электробезопасности. Предупреждение электротравматизма на объектах достигается выполнением следующих мероприятий:

- устройством электроустановок таким образом, чтобы обеспечивалась недоступность прикосновения человека к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- устройством защитного заземления;
- защитой от перехода высокого напряжения в сеть низкого напряжения;
- применением защитных средств при обслуживании электроустановок;
- проведением планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний устройств зануления;
- применением специальных схем защитного отключения;

- электрооборудования, аппаратов, сетей, находящихся в эксплуатации;
- организационными и техническими мероприятиями по обеспечению безопасности при проведении переключений и ремонтных работ;
- специальным обучением лиц, обслуживающих электроустановки.

Во время работы установки и пробного ее пуска запрещается прикасаться к кабелю. Не допускается проведение каких-либо работ на кабеле при спускоподъемных операциях. Защитой от прикосновения к токоведущим частям является изоляция проводов, ограждения, блокировки и защитные средства. Электрозащитные средства предназначены для защиты людей от поражения электрическим током. Средства защиты подразделяются на основные и дополнительные. К основным до 1000 В относятся: изолирующие клещи, указатели напряжения, диэлектрические перчатки и монтерский инструмент с изолированными рукоятками. Дополнительные до 1000 В диэлектрические коврики, коврики и подставки.

## *2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования*

Возможность получить различного вида травму, возникает на всех этапах полевых работ, но возрастание риска подвергнуться механическому воздействию, а в следствии, получить травму можно при погрузочно-разгрузочных, монтажно-демонтажных работах на скважине и др.

Геофизическое оборудование и их эксплуатация должны соответствовать нормативным документам (ГОСТ 12.2.062-81 , ГОСТ 12.4.125-83 , ГОСТ 12.2.003-91).

Управление аппаратурой должно производиться лицами, имеющими на это право, подтвержденное соответствующими документами. Лица, ответственные за исправное состояние и безопасную эксплуатацию оборудования назначаются приказом начальника партии. Оборудование, аппаратура и инструмент должны содержаться в исправности и чистоте, соответствовать техническим условиям завода - изготовителя и эксплуатироваться в соответствии с требованиями эксплуатационной и ремонтной документации. Запрещается

применять не по назначению, а также использовать неисправные оборудование, аппаратуру, приспособления и средства индивидуальной защиты (рукавицы, спецобувь, спецодежда). Ремонт оборудования должен производиться в соответствии с положением. Ручной инструмент (кувалды, молотки, ключи, лопаты и т.п.) содержится в исправности. Инструменты с режущими кромками и лезвиями следует переносить и перевозить в защитных чехлах и сумках. Рабочие и инженерно - технические работники, находящиеся на рабочих местах, обязаны предупреждать всех проходящих об опасности и запрещать им подходить к аппаратуре, проводам и заземлениям.

Правила техники безопасности при работах на бурящихся и действующих скважинах

1. Все работы должны производиться в строгом соответствии с утверждёнными проектами и с соблюдением «Единых правил безопасности при осуществлении геологоразведочных работ».
2. Буровые установки (вновь построенные после переезда или передвижные, подвергнувшиеся ремонту) должны запускаться в эксплуатацию только после приёмки их комиссией. Комиссия назначается руководителями геологоразведочной экспедиции. По прохождении экспедиции составляется акт, заверяющий, что малогабаритная буровая установка готова к началу работы и сможет осуществлять её в соответствии со сводом «Единых правил безопасности при осуществлении геологоразведочных работ». При приёмке буровой установки, которой предстоит забуривание на глубину свыше 1200 метров, в составе комиссии должны присутствовать представители Госгортехнадзора.
3. Абсолютно все рабочие, принимающие участие в буровых работах, должны в обязательном порядке пройти медосмотр, в ходе которого должны учитываться условия их работы, а также профиль их деятельности. Допускать к работе лиц, по состоянию здоровья не способных выполнять свои служебные обязанности, запрещается.

4. К манипуляциям с буровым оборудованием, а также к обслуживанию силовых агрегатов буровых установок, насосов, электростанций и прочего бурового оборудования и инструмента не допускаются лица, не имеющие соответствующего удостоверения. Передача обслуживания и управления буровым оборудованием лицам, не имеющим на это прав, является грубым нарушением техники безопасности.

5. Рабочие допускаются к выполнению работ только после завершения обучения технике безопасности и сдачи соответствующих экзаменов. Рабочим, которым предстоит осуществлять подземные работы, в обязательном порядке необходимо пройти курс по пользованию самоспасателем.

6. При внедрении новых методов труда или технологических процессов, равно как и при внедрении новых механизмов, инструментов и других видов бурового оборудования, все рабочие обязаны проходить дополнительный инструктаж.

7. Независимо от успешности проведения работ и используемого бурового инструмента, повторный инструктаж всех рабочих должен проводиться два раза в год.

8. Прохождение повторного инструктажа должно регистрироваться в «Книге инструктирования рабочих по технике безопасности», а сама книга должна храниться у начальника отряда (руководителя работ) или же у инженера рабочих по технике безопасности.

9. Продолжительность предварительного обучения рабочих назначается главным инженером и может зависеть от характера выполняемых на объекте буровых работ.

10. По окончании предварительного обучения каждый сотрудник переходит под руководство опытного рабочего и работает в качестве ученика в течение срока, утверждённого программой обучения на производстве. За этот срок ученик должен не только повысить свою квалификацию, но и в полном объёме усвоить правила безопасности

производимых работ. После этого ему предстоит сдать экзамен по своей специальности и получить на руки документ, удостоверяющей его право на осуществление манипуляций с буровым оборудованием.

11. Состав принимающей испытания экзаменационной комиссии формируется начальником партии.

12. Каждый рабочий должен выполнять только тот вид деятельности, по которому он прошёл обучение. Без переквалификации и прохождения инструктажа по технике безопасности его перевод в другие сферы недопустим.

13. Прежде чем начать работу, машинист малогабаритной буровой установки на гусеничной базе должен проверить исправность двигателя, бурового насоса, а также всех предохранительных устройств бурового оборудования.

14. Запрещается: запускать буровое оборудование до полного устранения неисправности; оставлять работающую буровую установку без присмотра; снимать и надевать приводной ремень без остановки двигателя; запускать буровой насос без ограждения ремня; во время работы лебёдки браться руками за канат; запускать оборудование, оставляя на валу лебёдки рукоятку ручного подъёма; запускать силовой агрегат, когда фрикцион станка включен; запускать буровое оборудование без ограждения муфты, шпинделя и других движущихся частей.

15. Машинист, сдающий смену, должен известить обо всех обнаруженных в ходе работы неполадках принимающего машиниста. Кроме того, все неполадки должны быть отмечены буровым мастером в журнале сдачи-приёмки смены.

16. В случае обнаружения малейшей опасности для рабочих, помощник бурового мастера или сам мастер лично обязаны незамедлительно принять меры. Если же ликвидировать опасность нет возможности, работу бурового оборудования необходимо прекратить, после чего



эвакуировать персонал в безопасное место и немедленно известить начальника отряда, прораба или старшего мастера.

17. О чрезвычайном прекращении работ и о ликвидации поломки буровой мастер должен отчитаться в журнале сдачи-приёмки смены.

18. Наличие журнала замечаний по технике безопасности является строго обязательным. Руководитель рабочего процесса (начальник отряда, буровой мастер, прораб) обязан по крайней мере один раз в декаду проверять соблюдение техники безопасности на местах, а о результатах проверки отчитываться в журнале замечаний.

19. Все члены тех. персонала должны быть укомплектованы спецодеждой и всеми необходимыми средствами защиты: касками, диэлектрическими перчатками, защитными очками, предохранительными поясами, рукавицами. Спецодежда подбирается исходя из специфики деятельности рабочего.

20. Все металлические конструкции малогабаритной буровой установки должны быть заземлены. Все применяемые для заземления устройства должны соответствовать требованиям, выдвигаемым разделом «Электротехническое хозяйство» техники безопасности. В непосредственной близости от пусковой аппаратуры всегда должны находиться защитные средства (диэлектрические перчатки и резиновые коврики).

21. При осуществлении бурения близ объектов, являющихся потенциальным источником угрозы для работников (высоковольтные линии электропередач, нефте- и газопроводы) должны быть приняты дополнительные меры предосторожности. Персонал должен быть в обязательном порядке предупреждён об опасности.

22. Ключи, молотки, кувалды, ломы и другой ручной инструмент следует содержать в полной исправности. Все инструменты, оборудованные рукоятями, должны быть прочно укреплены на них. Производить работы неисправным инструментом категорически запрещается.

23. Если рабочий инструмент применяется на высоте более 2 метров над уровнем земли, то его необходимо переносить в специальных сумках, а в процессе работы привязывать.

24. Если того требует специфика работ, следует производить удлинение рукояток ключей. Оно может быть осуществлено посредством надевания на них бесшовных патрубков. Общая длина плеча при этом не должна превышать 2 м.

25. Если работа проводится на высоте 2 метра от земли, то рабочие места должны быть в обязательном порядке оборудованы площадками с мостиками, иметь лестницы и перила. При осуществлении работ на высоте свыше 3 метров все рабочие должны надевать предохранительные пояса. Работать на высоте запрещается при плохих погодных условиях (ливень, гроза, порывистый ветер силой от 5 баллов, сильный снегопад).

26. Работая на высоте, рабочим категорически воспрещается перебрасывать инструмент друг другу. По завершении смены весь вспомогательный буровой инструмент должен быть убран на место.

27. Рабочие помещения стационарных буровых установок в обязательном порядке должны быть оборудованы противопожарным инвентарём.

28. На всех рабочих местах должны быть вывешены таблички, предупреждающие об опасности, а также сопутствующие инструкции и знаки.

29. На всех без исключения производственных объектах буровой вышки должны быть медицинские аптечки. Они должны содержать бинт, йод, вату и подробные инструкции по оказанию первой помощи.

30. Посторонние лица не должны допускаться на объект. Вход во все производственные помещения (буровые установки, насосные станции, передвижные электростанции) должен осуществляться по пропускам.

31. Запрещается допускать к выполнению работы лиц, пребывающих в нетрезвом состоянии.

32. Все связанные с производством несчастные случаи должны расследоваться в соответствии с регламентом.

### **6.3 Экологическая безопасность**

Рассмотрим экологическое влияние на общество и природу нефтегазовой отрасли, являющейся базовой для энергетики России.

Так один из продуктов переработки нефти - трансформаторное масло - является опасным, токсичным, канцерогенным веществом - это полихлорированный бифенил. Опасный сам по себе, он, в определенных условиях, становится источником одних из самых опасных современных токсичных биоаккумуляированных веществ длительного действия (полупериод распада - 10 лет) - диоксинов. По поражающей силе один из диоксинов мало уступает современным боевым отравляющим веществам, являясь часто их эквивалентом. Чрезвычайная опасность их состоит в том, что, накапливаясь в жировых тканях организма, они не выводятся из него, и подавляют репродуктивную функцию всего живого, тем самым, являясь генетическим оружием.

Сырая нефть и природный газ также являются экологически опасными веществами; попадая в воздух, воду, почву они наносят огромный ущерб всему живому. Действие на организм паров сырой нефти непостоянно и зависит от её состава. Нефть, бедная ароматическими углеводородами, по действию приближается к бензинам. Пары сырой нефти малотоксичны. Большее воздействие оказывает соприкосновение с жидкой нефтью кожи человека, вследствие чего могут возникать дерматиты и экземы.

О прямом ущербе от разливов нефти и выбросов газа при авариях тру-

бопроводов, танкеров и других объектов, участвующих в процессе транспорта и переработки нефти и газа, широко известно.

На рассматриваемой буровой используется обваловка каждого кустика скважины добычи нефти. При аварийной ситуации, при попадании в почву нефти используются установки для очистки почвы от нефтяных примесей.

В каждом цехе подготовки переработки нефти (ЦППН) используется шламовое хозяйство. Шламовая установка напоминает стиральную машину, где загрязненная почва проходит все стадии очистки от нефти. Очищенную землю можно использовать в качестве обваловки на кустах.

Контроль за состоянием природной среды организуется службами (отделами, ответственными за охрану окружающей среды инженерами) предприятием и его подразделений, осуществляется контроль методом приборных измерений лабораториями подразделений.

Промысловые объекты и установки, технологический процесс в которых связан с выделением газа, копоти, пыли и других вредных веществ, следует располагать по отношению к жилому району с подветренной стороны с учетом господствующего направления ветра и отделять от границ жилых районов санитарно-защитными зонами (разрывами).

Ширина санитарно-защитной зоны для жилых районов устанавливается согласно действующим санитарным нормам. В отдельных случаях по согласованию с органами Государственного санитарного надзора допускается уменьшение ширины санитарно-защитной зоны в зависимости от степени ослабления или полной ликвидации вредных факторов.

В санитарно-защитной зоне между жилыми районами и объектами нефтегазо-добычи допускается размещать производственные объекты с меньшим, чем у данного объекта, классом вредностей при условии, что между размещаемыми объектами и жилыми районами будет сохранена требуемая санитарно-защитная зона.

Территория санитарно-защитной зоны должна быть благоустроена и озеленена.

Загрязненные производственные стоки при бурении, освоении, капитальном и текущем ремонтах скважин, деэмульсации нефти и при других работах должны собираться и отводиться для частичного или полного обезвреживания или закачки в поглощающие скважины. Для этого все промысловые объекты согласно проекту должны быть оборудованы постоянными или временными сооружениями - обвалованиями, сборными канавами, котлованами, ловушками, очистными установками, поглощающими скважинами и т. п. До осуществления этих мероприятий ввод объектов в эксплуатацию запрещается.

Сбор, хранение и утилизация отходов производства. Отходы подразделяются на промышленные (нефтешламы, масла, резина, ветошь и др.) и бытовые отходы (от жизнеобеспечения человека: столовые, вагончики-бытовки и др.). Отходы должны сортироваться и собираться по видам и классу опасности в контейнеры, которые находятся на специальных площадках. Отходы учитываются и сдаются на полигоны и свалки для утилизации или захоронения. Отходы бурения (буровой шлам, буровые сточные вода, отработанный буровой раствор) размещается в шламовый амбар, специальное сооружение для размещения и утилизации отходов бурения расположенное на землях краткосрочного пользования. Жидкая фаза отходов бурения утилизируется в систему нефтесбора, шламовый амбар рекультивируется либо методом ликвидации, либо методом лесной рекультивацией (посадка саженцев древесных растений). Земли сдаются в Гослесфонд. Размещение и сброс других видов отходов и технологических жидкостей в шламовый амбар запрещен и считается экологическим правонарушением, за которое на виновника налагается административный штраф, рассчитывается ущерб и сверхлимитные платежи. Для сбора нефти с загрязненных мест имеется различное нефтесборное оборудование, начиная с откачивающих агрегатов до зарубежной техники - нефтесборщики различных принципов действия. Для утилизации существуют установки по переработке нефтешламов, нефтезагрязненных грунтов в НГДУ и СУХТП

## **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Буровые установки относятся к категории А . Категория производства по степени опасности поражения молнией - II.

Пожарная профилактика промышленных объектов заключается в следующем:

- предотвращении образования горючей среды (регламентирование допустимой концентрации горючих веществ в воздухе, нормирование концентрации кислорода или другого окислителя в газе), а также ограничении горючести обращающихся в производстве веществ, материалов, оборудования и конструкций;

- предотвращении образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания;

- поддержании температуры горючей среды ниже максимально допустимой до горючести;

- поддержании давления в горючей среде ниже максимально допустимого до горючести;

- уменьшении определяющего размера горючей среды ниже максимального по горючести.

Эти профилактические мероприятия обеспечиваются:

- строгим соблюдением нормативов пожарной безопасности, обучением персонала, пропагандой основ пожарной профилактики на предприятиях;

- применением широкого комплекса организационно-технических мероприятий;

- правильной планировки предприятий и цехов; применения огнестойких материалов для строительных конструкций и ограничения использования пожароопасных веществ;

- автоматизации и механизации пожароопасных производственных процессов;

- герметизации оборудования и технологических линий и др.

На стадии проектирования БУ, учитываются требования соответствующих нормативных документов, регламентирующих меры пожарной профилактики. К таким документам относятся: СНиП «Противопожарные требования. Основные положения проектирования», СНиП «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования», ПТУСП («Противопожарные технические условия строительного проектирования») предприятий нефтегазодобывающей промышленности, «Правила пожарной безопасности в нефтяной промышленности», нормы и правила устройства производственной вентиляции, отопления, электрического освещения и др.

Предотвращение распространения пожара должно обеспечиваться:

- устройством противопожарных преград (стен, зон, поясов, защитных полос);
- установлением предельно допустимых площадей противопожарных отсеков и секций;
- устройством аварийного отключения и переключения аппаратов и коммуникаций;
- применением средств, предотвращающих розлив и растекание жидкостей при пожаре;
- применением огнепреграждающих устройств (огнепреградителей, затворов, клапанов, заслонок и т. п.);
- применением разрывных предохранительных мембран на аппаратуре и коммуникациях;
- вокруг предприятия и производственных объектов (БУ) устраиваются дороги для подъезда пожарных машин и доступа пожарных к любой точке объекта, что способствует быстрой локализации пожара.

Опасными факторами пожара, воздействующими на людей, являются открытый огонь и искры; повышенная температура воздуха, предметов и т. п.; токсичные продукты горения; дым; пониженная концентрация кислорода; обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок; взрыв.

Пребывание в горящем здании людей не принимающих непосредственного участия в тушении пожара и лишенных средств защиты, становится опасным уже при температуре окружающей среды выше 60°C, при задымленности, затрудняющей ориентирование в пространстве, снижении содержания кислорода в помещении до 17 - 18%, поэтому люди должны иметь возможность эвакуироваться из здания. Ниже на рисунке 38 представлен предполагаемый план эвакуации с рабочей площадки буровой установки.

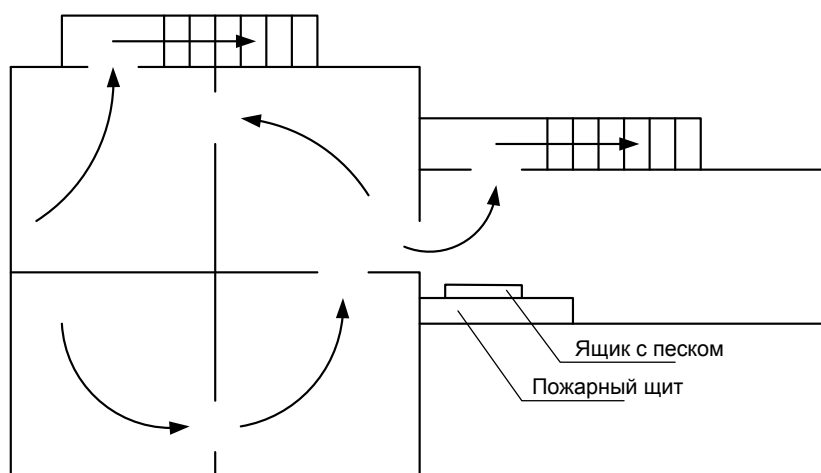


Рисунок 38 - Предполагаемый план эвакуации с рабочей площадки буровой установки

## **6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

Трудовые отношения работников регулируются трудовым кодексом РФ, коллективным договором, приказами, инструкциями и иными локальными нормативными актами.



Обслуживающий персонал работает на открытом воздухе, вахтовым методом, нередко при неблагоприятных метеорологических условиях. Работы вахтовым методом проводятся согласно ТК РФ глава 47.

К работам, выполняемым вахтовым методом, не могут привлекаться работники в возрасте до восемнадцати лет, беременные женщины и женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, а также лица, имеющие противопоказания к выполнению работ вахтовым методом в соответствии с медицинским заключением, выданным в порядке, установленном федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации.

Вахтой считается общий период, включающий время выполнения работ на объекте и время междусменного отдыха.

Продолжительность вахты не должна превышать одного месяца. В исключительных случаях на отдельных объектах продолжительность вахты может быть увеличена работодателем до трех месяцев с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации в порядке, установленном статьей 372 настоящего Кодекса для принятия локальных нормативных актов.

Для обеспечения нормального проведения работ проводятся организационные и технические мероприятия по обеспечению безопасности.

При проведении монтажных и ремонтных работ должны соблюдаться следующие требования:

1. Размещение элементов, узлов и агрегатов в подъемнике должно быть удобным для осмотра, ремонта и настройки.

2. Электромонтажные работы должны выполняться в соответствии с действующими «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ)» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ)», для взрывоопасных зон в соответствии с инструкциями по монтажу электрооборудования силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон ВСН 332-74.

2. Пульты управления должны быть установлены в местах, удобных для управления механизмами и наблюдения за ходом технологического процесса.

3. Щит управления должен быть, по возможности, установлен недалеко от технологического оборудования с целью экономии кабельной продукции.

4. Монтаж и маркировку внешних электрических цепей вести в строгом соответствии со схемами подключения.

5. В щите управления для снижения действия помех необходимо при прокладке слаботочных цепей управления систем автоматического регулирования осуществлять попарную скрутку проводов с шагом 10...20 мм, прокладывая их отдельно от остального монтажа.

6. Слаботочные цепи управления внешних соединений вести специальным кабелем со скруткой жил или скрученными проводами с шагом 10...20 мм, удаленными на расстояние не менее 70 см от силовых цепей.

7. Подключение проводов связи к измерительному шунту тока нагрузки следует производить таким образом, чтобы они совместно с шунтом образовывали виток с минимальной площадью.

Также при осуществлении монтажа и настройки электропривода необходимо соблюдать следующие указания мер безопасности:

1. При ведении наладочных и ремонтных работ в шкафах электропривода без снятия напряжения бригада должна состоять не менее чем из двух лиц, включая производителя работ.

2. Работа в шкафах ЭП без снятия напряжения должна производиться в диэлектрических перчатках и на диэлектрических ковриках или в ботах. Защитные средства должны быть проверены по нормам и в сроки, указанные в ПТЭ и ПТБ.

3. Производить обслуживание ЭП можно только специально обученным электротехническим персоналом, достигшим 18-летнего возраста, прошедшим проверку знаний ТБ и допущенным к работе в электроустановках до 1000 В.

4. Следует запира́ть шкаф ЭП специальным ключом после окончания работ.

5. Выдвигать и вставлять ячейки, устройства, заменять вышедшие из строя детали, выполнять все перепайки и подключения на панелях и клеммниках следует только при отключенных переключателях напряжения собственных нужд и главных цепей.

6. Иметь в виду, что при отключении автоматов силовых цепей и цепей собственных нужд, под напряжением остаются вводы этих цепей и цепи питания розеток и освещения.

7. Пожаробезопасность ЭП обеспечивается применением пожаробезопасных материалов, наличием защит, предотвращающих перегрев элементов изделия.

8. Каждый шкаф ЭП при номинальном токе до 200 А включительно должен быть заземлен через один заземляющий зажим, при токе 320 А и выше — через два зажима.

Каждые три месяца для работников, обслуживающих электроустановки, производится общий инструктаж по технике безопасности, каждый год — проверка знаний «Правила ПТЭ и ПТБ электроустановок» с соответствующей записью в журнале проверки знаний ПТЭ и ПТБ и выдачей специального удостоверения.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы рассчитаны параметры силовой цепи и цепи возбуждения, определены оптимальные параметры настройки электропривода, рассчитаны статические и динамические характеристики. С помощью прикладных программ исследованы режимы работы привода в первой и второй зоне регулирования скорости и проанализировано влияние параметров электропривода на динамику системы.

На основании приведённых исследований и расчетов показано, что данный электропривод бурового ротора удовлетворяет требованиям технического задания и может быть использован в качестве электропривода вращателя буровой колонны с двухзонным регулированием скорости.

В экономической части работы проведена оценка технико-экономического обоснования выбора темы, приведён расчет затрат на проектирование и проведение пусконаладочных работ электропривода бурового ротора, а также этапы их проведения.

В работе также рассмотрены вопросы безопасности и экологичности, электробезопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности при монтаже, наладке и обслуживании электропривода на буровой установке.

## THE CONCLUSION

During performance of final qualifying work the parameters of a power(force) circuit and circuits of excitation are designed, the optimum parameters of adjustment of the electric drive are determined, are designed static and dynamic characteristics. With the help of the applied programs the modes of work of a drive in the first and second zone of regulation of speed are investigated and the influence of parameters of the electric drive on dynamics(changes) of system analysed.

On the basis of the given researches and accounts is shown, that the given electric drive of a chisel rotor meets the requirements of the technical project and can be used as the electric drive of a rotor with two-zoned regulation of speed. In an economic part of work the estimation of the feasibility report of a choice of a theme is carried out(spent), the account of expenses on designing and realization of starting-up and adjustment works of the electric drive of a chisel rotor, and also stages of their realization is given.

In work questions of safety and ecology, electrosafety and fire safety also are considered at installation, adjustment and service of the electric drive on chisel installation.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дудля Н.А. Проектирование буровых машин и механизмов: Учебник - К.:Высшая шк.,1990. - 390 с.
2. Документация по обслуживанию электропривода лебедки буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ
3. Удут Л.С, Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. - Томск: Изд. ТЛИ им. С,М. Кирова, 1991. - 104 с.
4. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник/ И.Х.Евзеров и др.; под ред. В.М.Перельмутора. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 319с.
5. Тарабин Б.В., Лунин Л.Ф., Смирнов Ю.Н. Интегральные микросхемы: Справочник. - М.: Энергоиздат, 1985. - 528 с.
6. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. - Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. - Оптимизация контура регулирования. - Томск: Изд.ТПУ,2000.-144с.
7. Броун С.И., Хоботько В.И. Программированное руководство по безопасному ведению буровых работ. - М.: Недра, 1978.
8. С.И. Броун. Охрана труда в бурении. - М.: Недра, 1981.
9. Правила безопасности в нефтегазодобывающей промышленности. Изд.2. - М.: Недра, 1975.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ) и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей (ПТБ). - М.: Атомиздат, 1972.
11. Техника безопасности в нефтяной промышленности. - Труды ВНИИТБ, вып. XIX - XXVII, 1970 - 1977.
12. Система стандартов безопасности труда. Сборники ГОСТов. 4 тома. - М.: издательство стандартов, 1971.

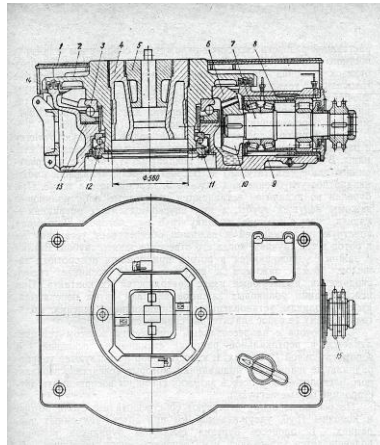
13. Охрана труда в машиностроении. Под редакцией Е.Я. Юдина. - М.: Машиностроение, 1983.
14. Противопожарные требования. Основные положения проектирования СНИП /П-А.5-70.-М.:1971.
15. Методическое пособие для расчета вибрации. - Т.: ТПУД989.
16. Панов Г. Е., Броун С. И. Охрана окружающей среды в нефтегазодобывающей промышленности. - М.: ВНИИОЭНГ, 1988.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**Графический материал**

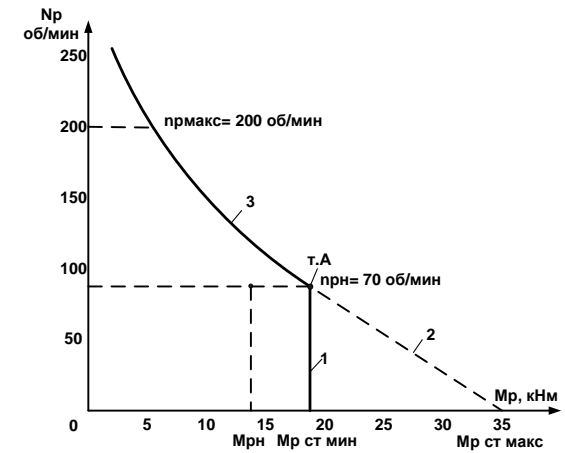




Буровая установка



ОБЩИЙ ВИД РОТОРА



ПРЕДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

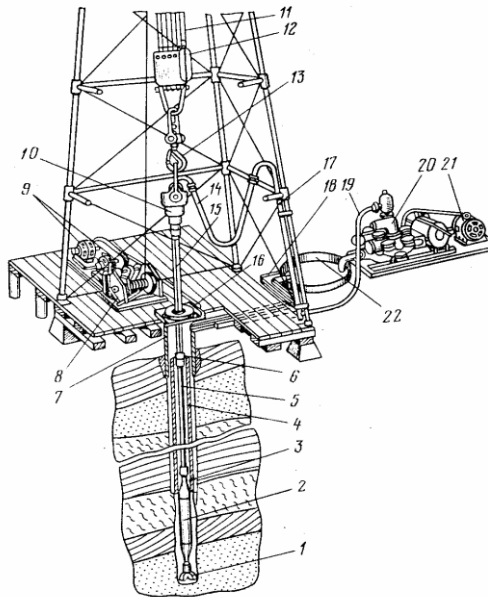
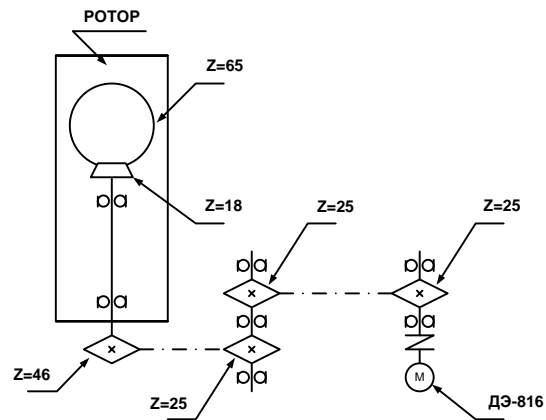
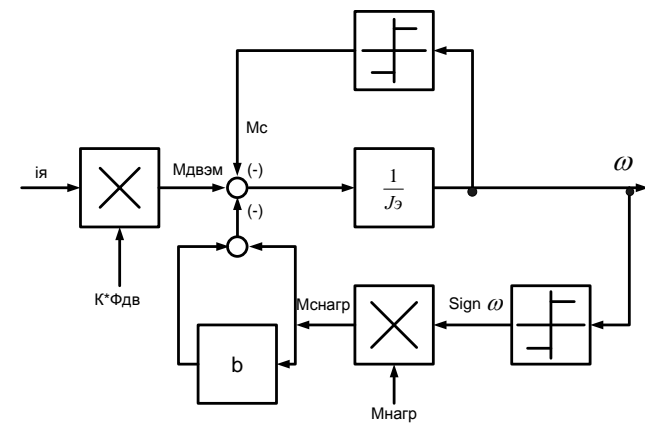


СХЕМА ВРАЩАТЕЛЬНОГО  
БУРЕНИЯ СКВАЖИН

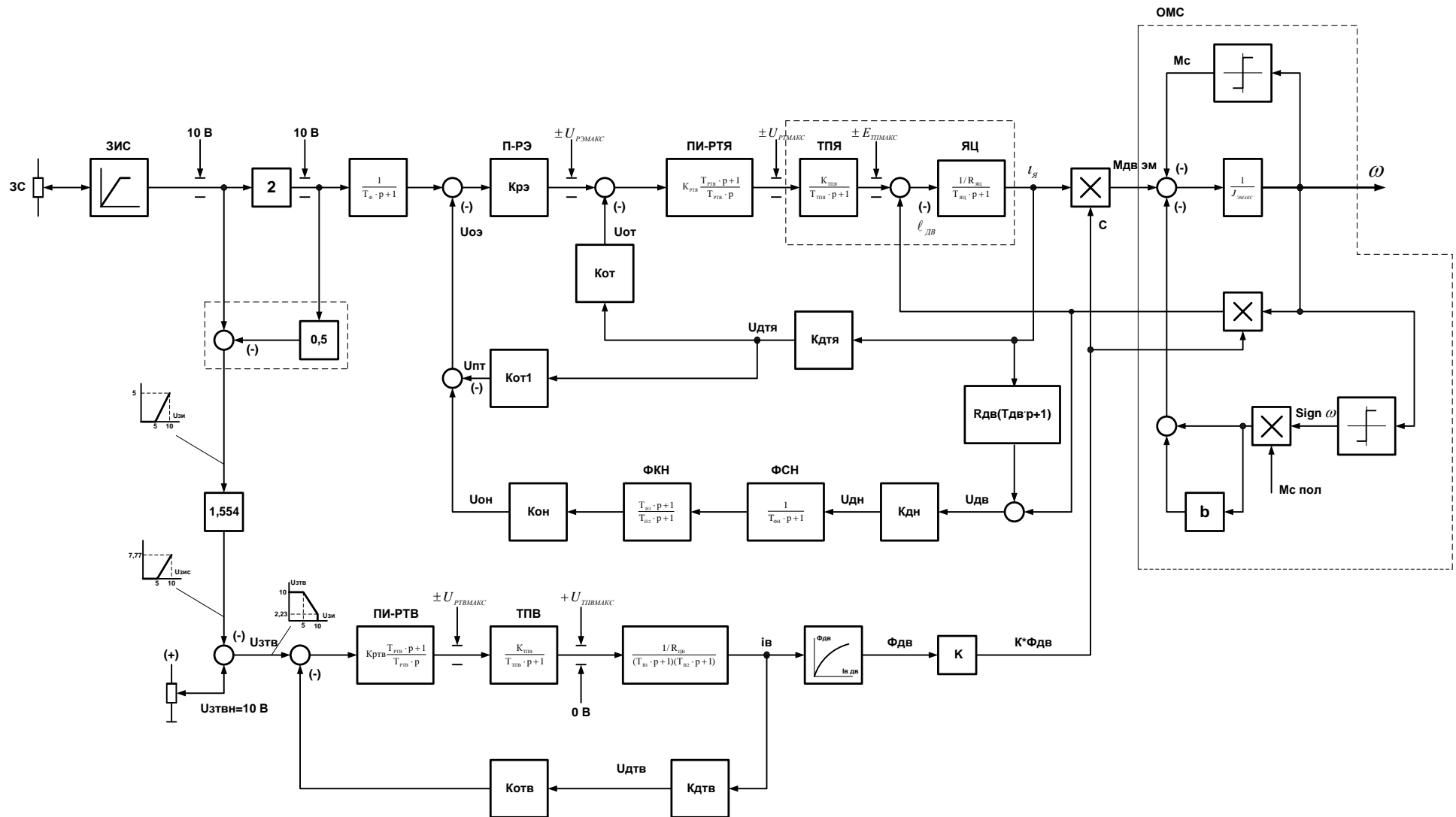


КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА

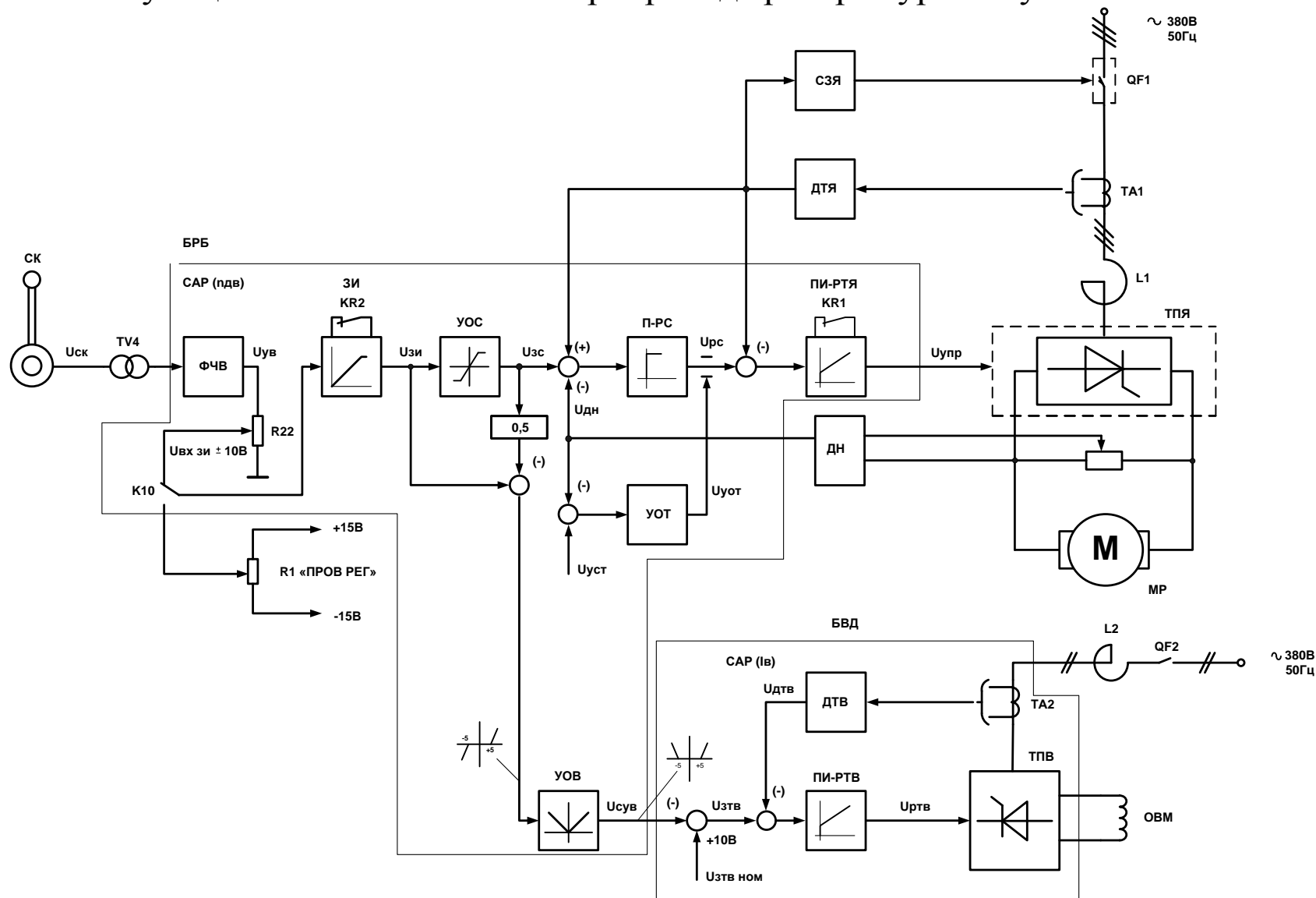


СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

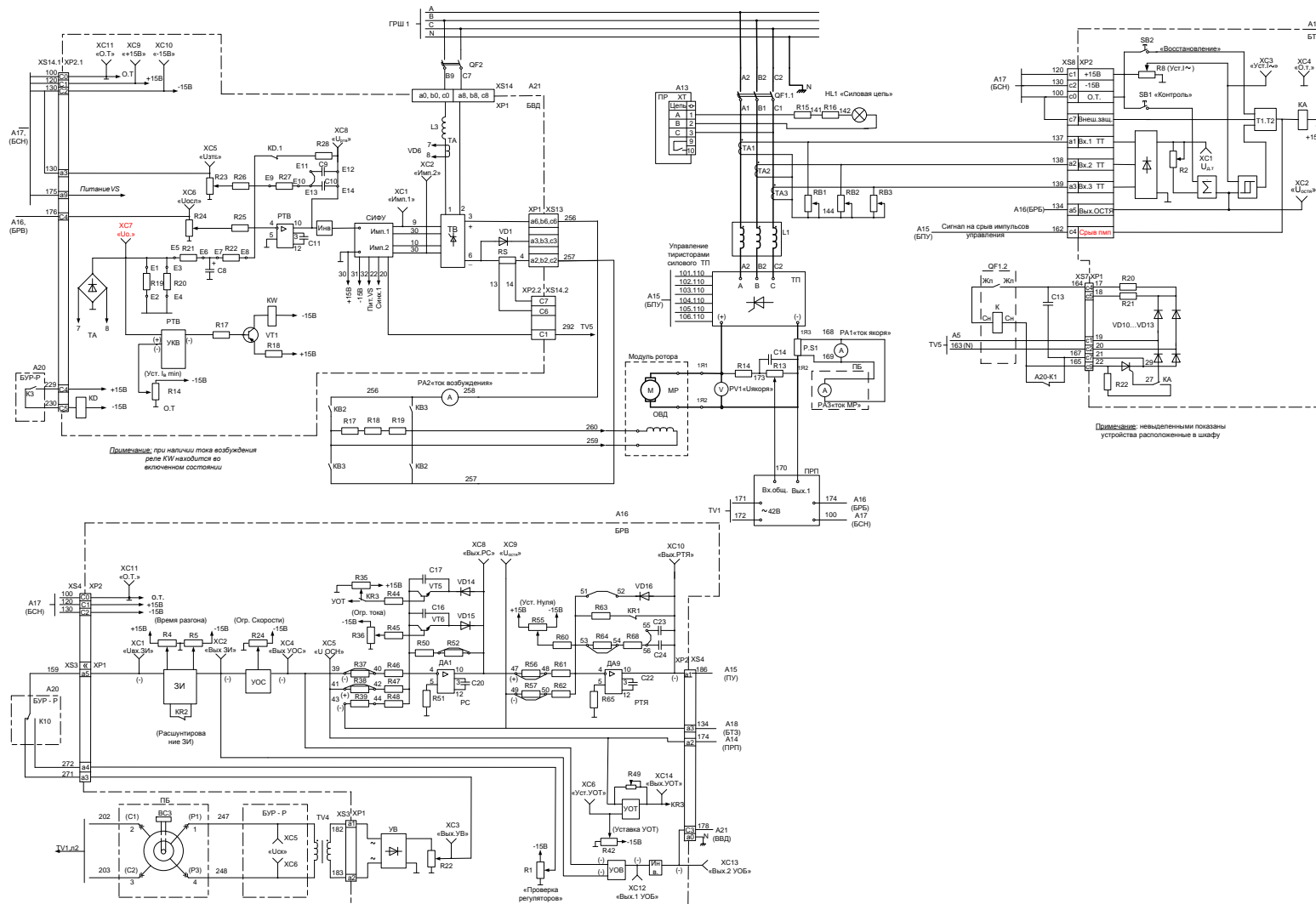
## Структурная схема электропривода ротора буровой установки БУ – 2900/200



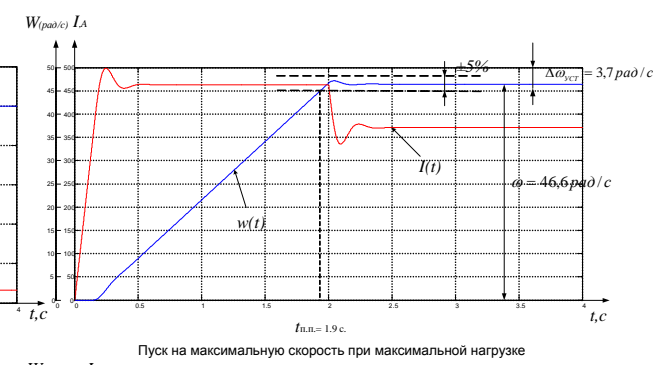
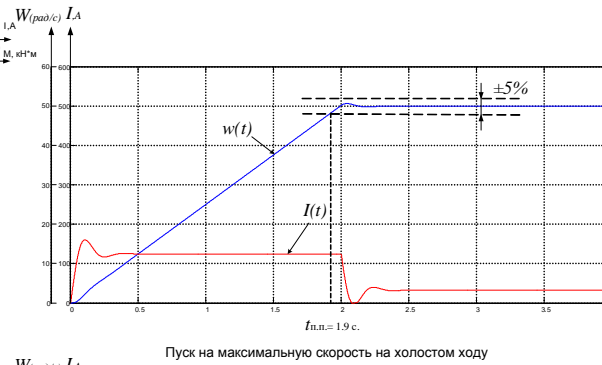
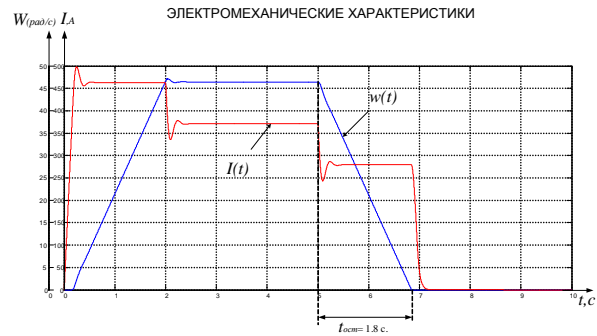
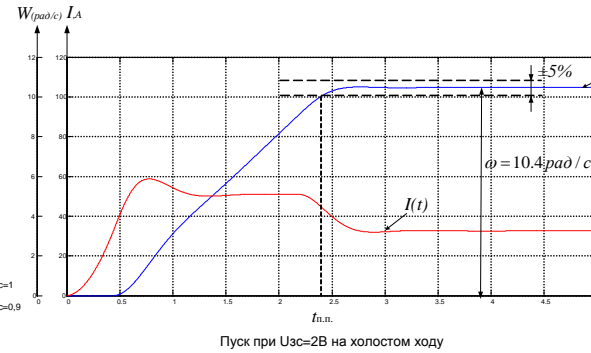
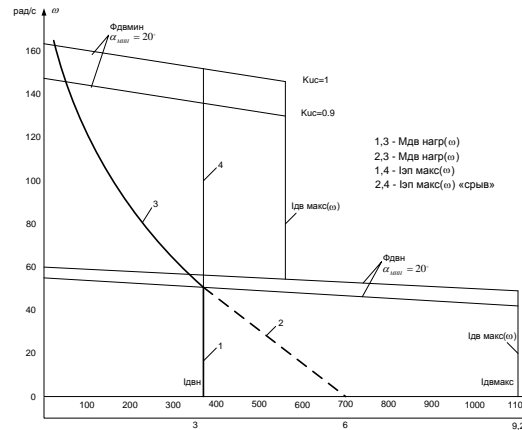
## Функциональная схема электропривода ротора буровой установки БУ – 2900/200



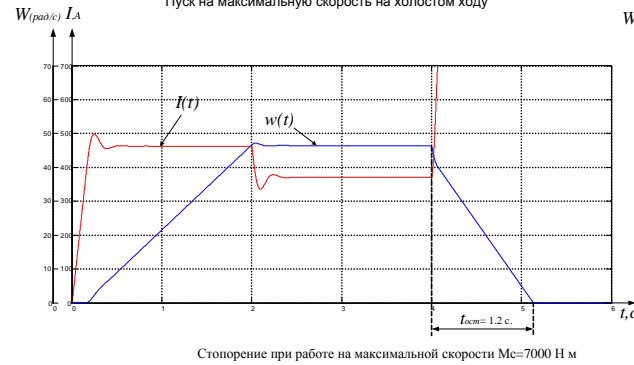
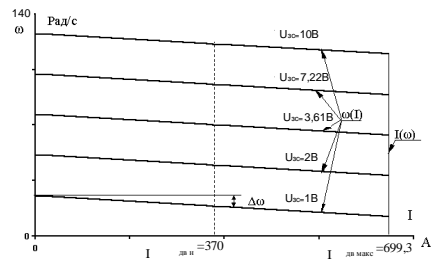
# Принципиальная схема электропривода ротора буровой установки БУ – 2900/200



## Экспериментальные результаты



Пуск на максимальную скорость и остановка при максимальной нагрузке



# График проведения ПНР

